

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number : 06-114766
 (43) Date of publication of application : 26.04.1994

(51) Int.CI. B25J 9/22
 B25J 3/04
 G05D 3/12

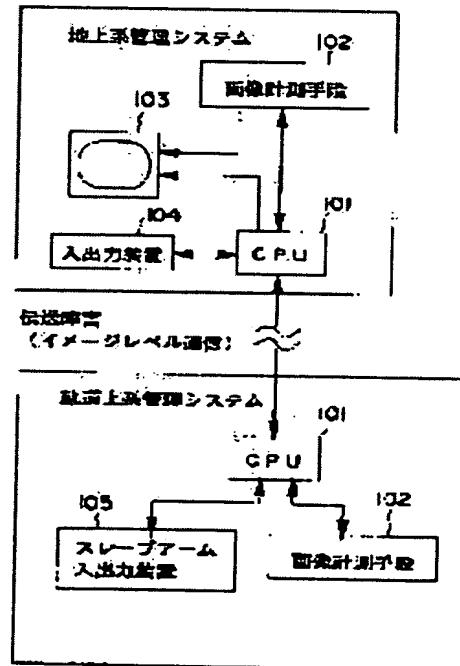
(21) Application number : 04-263739 (71) Applicant : HITACHI LTD
 (22) Date of filing : 01.10.1992 (72) Inventor : TSUCHIYA MASAHIRO
 KAMESHIMA KOJI
 YAMAMOTO HIROSHI
 HAMADA TOMOYUKI
 KIMURA KEIICHI
 KIKUCHI HIRONARI

(54) REMOTE CONTROL DEVICE FOR MANIPULATOR

(57) Abstract:

PURPOSE: To improve the operability series by independently computing a relative state by an operation series control system and a working series control system operated by means of a work message.

CONSTITUTION: A ground series control system as an operation series control system comprises a central processing layer CPU 101, an image measuring means 102 connected thereto, a graphic display 103, and an input output device 104. An on-track control system as a working series control system comprises a central processing unit CPU 101, a image measuring device 102, and a slave arm input output device 105. An on-track series system is caused to execute a work according to a command from the ground series control system. The respective CPUs 101 for the two systems individually control a work environment model, and perform control based on respective image measurement results such that working environment where the working is actually executed is kept equal to a work environment model, and work image level communicated is carried out therebetween.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 29.03.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 23.04.2002

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-114766

(43)公開日 平成6年(1994)4月26日

(51)Int.Cl.

B 25 J 9/22

3/04

G 05 D 3/12

識別記号

府内整理番号

Z

F I

技術表示箇所

N 9179-3H

審査請求 未請求 請求項の数11(全 27 頁)

(21)出願番号

特願平4-263739

(22)出願日

平成4年(1992)10月1日

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 土屋 雅弘

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日立製作所機械研究所内

(72)発明者 亀島 鉱二

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日立製作所機械研究所内

(72)発明者 山本 広志

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日立製作所機械研究所内

(74)代理人 弁理士 鵜沼 辰之

最終頁に続く

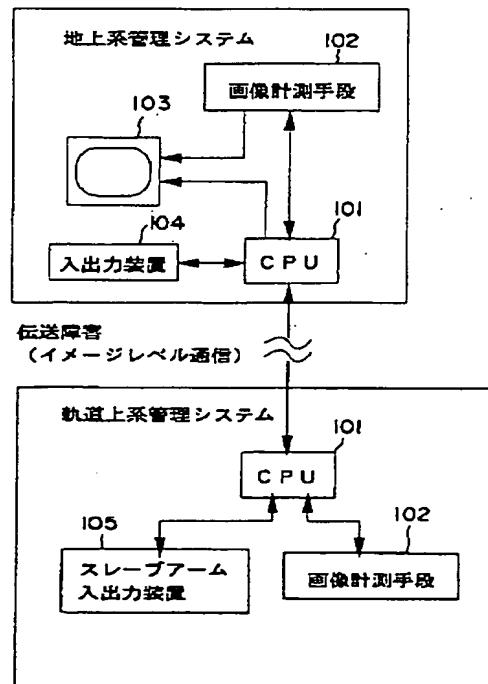
(54)【発明の名称】 マニピュレータの遠隔制御装置

(57)【要約】

【目的】スレーブアームを含んでなるマニピュレータの遠隔操作において、オペレータの操作するマスタアームの操作性を向上させる。

【構成】マスタアームを管理する操作系管理システムとスレーブアームを管理する作業系管理システムから構成され、各システムは、それぞれ環境モデルを参照して作業概念レベルの情報制御を自律分散的に行う複数の情報制御手段から構成され、かつ、それぞれが持つ前記環境モデルを実際の作業環境と等しくなるように、絶えず更新する手段を備えてなるマニピュレータ遠隔制御装置。

【効果】



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 中央処理装置と画像計測手段とオペレータ提示用画面と入出力装置から構成される操作系管理システムと、画像計測手段とスレーブアーム入出力装置と中央処理装置から構成される作業系管理システムとから構成されるマニピュレータの遠隔制御装置において、作業系管理システムは操作系管理システムから伝送される作業メッセージに基づいて作業を実施し、操作系管理システムと作業系管理システムが独立に作業を管理し、操作系管理システムおよび作業系管理システムでそれぞれ独立に相互の状況を計算することを特徴とするマニピュレータの遠隔制御装置。

【請求項 2】 中央処理装置と画像計測手段とオペレータ提示用画面と入出力装置から構成される操作系管理システムと、画像計測手段とスレーブアーム入出力装置と中央処理装置から構成される作業系管理システムとから構成されるマニピュレータの遠隔制御装置において、作業系管理システムは操作系管理システムから伝送される作業メッセージに基づいてスレーブアームによる作業を実施し、操作系管理システムは該作業メッセージに基づくスレーブアームの動作を前記作業系管理システムとは独立にシミュレートして前記オペレータ提示用画面に表示することを特徴とするマニピュレータの遠隔制御装置。

【請求項 3】 操作系管理システムと作業系管理システムが、それぞれ、自システムの各構成要素がアクセスすることができる環境モデルを格納した記憶手段と、操作系管理システムが持つ記憶手段に格納されている環境モデルと作業系管理システムが持つ記憶手段に格納されている環境モデルを常に等しくさせるように働く画像計測手段とを備えてなることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のマニピュレータの遠隔制御装置。

【請求項 4】 前記環境モデルは、物体の形状と、物体を操作する上で特徴となる事項を記述した部分と、物体固有の名称と、物体の位置、姿勢と、他の物体との接続関係と接続状態を記述した部分とから構成されていることを特徴とする請求項 3 に記載のマニピュレータの遠隔制御装置。

【請求項 5】 作業を指示する操作系管理システムと、該指示に基づいてスレーブアームの作業を制御する作業系管理システムとを含んでなるマニピュレータの遠隔制御装置において、操作系管理システムから作業系管理システムへの作業の指示は、作業概念レベルで記述された作業ネットワークを用いて行われることを特徴とするマニピュレータの遠隔制御装置。

【請求項 6】 前記作業ネットワークは、少なくとも作業の名称と作業を実行するために必要なデータとを含んで構成され、階層構造で記述されることを特徴とする請求項 5 に記載のマニピュレータの遠隔制御装置。

【請求項 7】 操作系管理システム及び作業系管理シス

テムは、操作系管理システムの各構成要素が作業系管理システムに備えられた記憶手段に、作業系管理システムの各構成要素が操作系管理システムに備えられた記憶手段に、それぞれアクセスでき、各記憶手段に格納された環境モデルを読み出し、書き込みできる手段を備えて成ることを特徴とする請求項 3 または 4 に記載のマニピュレータの遠隔制御装置。

【請求項 8】 スレーブアームの作業を制御する作業系管理システムに通信手段を介して作業を指示する操作系管理システムと、該指示に基づいてスレーブアームの作業を制御する作業系管理システムとを含んでなるマニピュレータの遠隔制御装置において、作業系管理システムは、通信異常事態発生を検知する手段と、状態遷移図により表現される安全管理ルールを記憶する手段と、通信異常事態発生が検知されたとき前記状態遷移図を参照してスレーブアームの動作を指示する手段とを備えていることを特徴とするマニピュレータの遠隔制御装置。

【請求項 9】 操作系管理システムは、作業系管理システムで制御される動作に必要な情報の管理を、オペレータ提示用画面との対話的動作を用いて行う手段を備えていることを特徴とする請求項 1 乃至 4 及び 7 のうちのいずれかに記載のマニピュレータの遠隔制御装置。

【請求項 10】 操作系管理システムは、作業対象物体を環境モデルへ入力する手段と、作業対象物体が前記入力する手段を介して環境モデルへ入力される際の位置のあいまいさと形状のあいまいさを処理する画像計測手段とを備えることを特徴とする請求項 3, 4 及び 7 のうちのいずれかに記載のマニピュレータの遠隔制御装置。

【請求項 11】 操作系管理システム及び作業系管理システムの各構成要素は、前記環境モデルにアクセスしながら、自律分散的に動作するように構成されたものであることを特徴とする請求項 3, 4, 7 及び 10 のうちのいずれかに記載のマニピュレータの遠隔制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明はオペレータが操作するマニピュレータに係り、特に人間にとて耐え難い環境および宇宙空間での作業を確実に行なうに好適なマニピュレータの遠隔操作装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来のマニピュレータは、複雑なマニピュレータの動作を行なうのをオペレータの技術に頼る傾向があった。例えば、マスタースレーブ形マニピュレータにおいては、マスターアームとスレーブアームとが同一又は相似形になっているため、マスターアームが人間の操作に不適な構造であったり、オペレータ自身がマスターアームの操作の邪魔になってしまふほど大きかったり、また細かい操作ができないことがあった。

【0003】 また、遠隔操作においては、マニピュレータ自身がオペレータの視野を遮り、オペレータは顔を

左右に動かしながら操作しなければならない場合があった。このため、ITVなどの利用も行なわれたが、1つの画像では充分な視野が得られず、またテレビカメラを多数配置すると画像とマニピュレータとの関係が変わり、オペレータが操作を誤ることがあった。

【0004】最近では、コンピュータ技術の急速な進歩により、マニピュレータやロボットの制御に計算機が取り入れられ、制御が高度化して来ている。その一例として、アイ・イー・コン'84 (IECON'84) の第40頁～第45頁に示されるように、形状の異なるマスター・アームとスレーブアームとの手先の運動を計算機を用いた高速座標変換演算により1対1に対応させているものがある。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上述した従来技術は、まだ個々の狭い技術分野にとどまり、マニピュレータを総合的な見地から検討して人間を含めたシステム技術として完成していないといえる。例えば、上述の高速座標変換演算技術の場合でも、マスター・アームとスレーブアームにおいて、それぞれの基準座標と各アーム手先の位置との2点を一致させているため各アームの運動の比率は一定となっている。このため、スレーブアームによって精密な作業を実現する場合には、マスター・アームをスレーブアームの要求動作と同様に細かな微小動作を行なわねばならず、またこれと逆にスレーブアームが大きな動作を必要とする場合には、同様にマスター・アームを大きく動作しなければならない。

【0006】このように、スレーブアームの作業は、オペレータに大きな負担をかけ、その技術により作業の実現性が決められることになる。

【0007】このような、オペレータの負担に加え、ITVを見ながら操作するときには、画像を見てテレビカメラの方向を考えマスター・アームを操作することになり精神的な負担も大きくなる。

【0008】また、宇宙の衛星軌道上を移動する例えば人工衛星の機器を地上からマニピュレータを介して操作するような場合、地上のマスター・アームが操作されてからその操作信号が衛星に到達し、マニピュレータの画像が地上に到達するまでに数秒の時間が経過する。そのため、地上で監視している画像が実際の状態よりも時間的に前の状態を示すことになり、本当はマニピュレータのアームが必要な位置にすでに到達しているのにまだ到達していないと錯覚して、アームをオーバランさせるようなことになる。

【0009】本発明の目的は、オペレータの操作するマスター・アームの操作性を向上させることのできるマニピュレータの遠隔操作装置を提供するにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的は、オペレータが操作する操作系管理システムと、この操作系管理シス

テムから出される作業指示に基づいて作業を実施するマニピュレータを制御する作業系管理システムが、それぞれ個別に中央処理装置を持ち、個別に作業場所の状態や作業対象物の状態を表現する環境モデルを管理して、作業系管理システムは操作系管理システムから出された作業指示に従って作業を実施するとともに、操作系管理システムが作業系管理システムが行う演算と同様の演算を作業系管理システムと独立に実施し、演算結果を表示することにより達成される。

【0011】

【作用】オペレータが操作する操作系管理システムと、スレーブアームを制御する作業系管理システムが、それぞれ個別に中央処理装置を持ち、個別に環境モデルを管理して、操作系管理システムと作業系管理システムが独立に相互の状況を計算することにより、それぞれが管理している環境モデルを一致させる。それが管理している環境モデルを一致させることにより、操作系管理システムと、作業系管理システムとの間で作業イメージレベルの通信を行うことが可能になる。また、この様なシステムにすることにより、操作系管理システムにおいて、スレーブアームの実時間における動作をシミュレートして環境モデルとともに画面表示することが可能となる。実時間での動作をシミュレートして画面表示することにより、通信遅延による操作性の劣化を無くし、通信の信頼性を高めることができる。

【0012】

【実施例】

(第1の実施例) 以下、本発明の第1の実施例を図面を参照して説明する。

【0013】まず、本発明の装置の一実施例を説明するに先立って、本発明の動作原理を図7を用いて説明する。図7に示したマスター・スレーブ・マニピュレータは、マスター・アーム201と、該マスター・アーム201と異なる構造のスレーブ・アーム202で構成されている。いま、マスター・アーム201の基準座標系をM、この基準座標系Mからマスター・アーム201の手先までの座標変換マトリクスをT_m、スレーブ・アーム202の基準座標系をS、この基準座標系Sからスレーブ・アーム202の手先までの座標変換マトリクスをT_sとし、前述した座標変換マトリクスT_m、T_s間でのスケール変換マトリクスをKとすると、座標変換演算の手順は次のようになる。

【0014】すなわち、マスター・アーム201の各リンクのパラメータと各リンク連結軸の位置とから前述したマスター・アーム手先までの座標変換マトリクスT_mを求めることができる。次にマスター・アーム手先までの座標変換マトリクスT_mとスレーブ・アーム手先までの座標変換マトリクスT_sとの間でのスケール変換及び基点シフトを含んだ座標変換演算は次の(1)式で表わされる。

$$T_s, s = K \cdot T_m$$

ここでKは

【0016】

【数1】

$$K = \begin{bmatrix} a & 0 & 0 & d \\ 0 & b & 0 & e \\ 0 & 0 & c & f \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots (2)$$

②

【0017】とすると、 $d = e = F = 0$ のとき T_s, s は T_m をマスタアーム201の基準座標系Mのx軸方向にa倍、y軸方向にb倍、z軸方向にc倍にしたものとなる。そして3軸方向に均等に拡大する場合には $a = b = c$ とすればよいことになる。そして、前述した(1)式により得られた変換マトリクス T_s, s に対し、スレーブアーム202のリンクバラメータを与え、スレーブアームの各軸の目標値を逆座標変換演算により求める。このようにして得られたスレーブアーム202の各軸の目標値に対し、各軸ごとにサーボ制御すれば、各アームの可動領域内では、アームの形状に係りなくマスタアーム201の運動を任意に拡大または縮小してスレーブアーム202を操作することができる。

【0018】次に、 $a = b = c = 1$ のとき、 T_s, s は T_m をマスタアーム1の基準座標系Mのx軸方向にd、y方向にc、z方向にf平行移動したものとなる。そして、前述した(1)式により得られた変換マトリクス T_s, s に対し、スレーブアーム202のリンクバラメータを与え、スレーブアーム202の各軸の目標値を逆変換演算により求める。このようにして得られたスレーブアーム202の各軸の目標値に対し、各軸ごとにサーボ制御すれば、マスタアームの基準点とスレーブアームの基準点を任意にずらして操作することができる。

【0019】次に上述した本発明の原理にもとづいて、本発明の装置の一実施例を図4を参照して説明する。図4に示すマスタースレーブマニピュレータは、マスタアーム201と、該マスタアーム201と異なる構造を持つ作業対象物301に作業するスレーブアーム202で構成されている。中央処理装置101は座標変換演算および両アームの制御等を行う。本発明の特長である座標変換追加装置218は、入出力装置217のキーボードからの入力に基づき(2)式のKを作り、中央処理装置101に(1)式に示す座標変換を追加する指示を与える。マスタアーム201の入出力装置204は、マスタアーム201の各関節角度等を中央処理装置101へ入力し、また中央処理装置101からマスタアーム201への指令値をサーボ増幅し、マスタアーム201の各関節のアクチュエータを駆動する働きをする。スレーブアーム202の入出力装置206は、スレーブアーム202の各関節角度等を中央処理装置101へ入力し、また中

… (1)

央処理装置101からスレーブアーム202への指令値をサーボ増幅し、スレーブアーム202の各関節のアクチュエータを駆動する働きをする。

【0020】ジョイスティック207は、中央処理装置101内部の切換えにより、マスタアーム201の代りにスレーブアーム202、及び後述するアニメーション画像に対する指令値を出す。ジョイスティック207の入出力装置208は、ジョイスティック207の傾き角の信号等を中央処理装置101へ入力し、また、中央処理装置101からジョイスティック207への力帰還信号をサーボ増幅し、ジョイスティック207のアクチュエータを駆動する働きをもつ。画像入力装置209は、スレーブアーム202の作業を種々の方向から監視する。画像処理装置210は、画像入力装置209で入力した画像にFFT等の演算を施し、パターン同定等を行う。シミュレーション手段211は、コンピュータグラフィックによってスレーブアームの状態をリアルタイムで表示するアニメーション用計算機である。オペレータ提示用画面103は、シミュレーション手段211によるアニメーション画像を表示する他、アニメーション画像と画像入力装置209で入力した実画像を重ねて表示することもでき、さらにモード切換等のメニュー表示を始め、中央処理装置101及びシミュレーション手段211とのマンマシンインタフェースの対話用出力にも用いられる。テレビモニタ213は、画像入力装置209の映像を表示する。入出力装置217はスケール変換定数、基点シフト指示メニューの入力を始め、中央処理装置101及びシミュレーション手段211とのマンマシンインタフェースの対話メッセージ入力に用いられる。

【0021】次に本実施例の信号の流れの主なものを、操作系管理システム部分を示す図2及び作業系管理システム部分を示す図3を用いて説明する。なお、実際のものは、マスタアーム、スレーブアーム、ジョイスティック共に6自由度を持つが、以下、簡単のため3自由度として説明を行う。

【0022】マスタアーム201の各関節軸には位置検出センサ214A～214Cが設けられており、該位置検出センサ214A～214Cの信号はマスタアーム入出力装置204で処理され、シミュレーション手段211へ入力される。スレーブアーム202の各関節軸には位置検出センサ215A～215Cが設けられており、該位置検出センサ215A～215Cの信号はスレーブアーム入出力装置206で処理され、マニピュレーション手段230へ入力される。マニピュレーション手段230では一般化座標への座標変換演算を行い、さらに座標変換追加装置218の指示に基づき、第2一般化座標への座標変換を行うことにより、スレーブアーム202への指定値を決定する。この信号はスレーブアーム入出力装置206を経てスレーブアーム202の各関節軸に

7
設けたアクチュエータ216A～216Cを駆動する。又同時に、マニピュレーション手段230からシミュレーション手段211へ信号が送られ、オペレータ提示用画面103上にスレーブアームのアニメーション画像が表示される。

【0023】ジョイスティックにはその角度を検出する位置検出センサ217A～217Cが設けられており、位置検出センサ217A～217Cの信号はジョイスティック入出力装置208で処理され、シミュレーション手段211へ入力される。シミュレーション手段211ではスレーブアームへの指令を決定する際に、外部からの切換信号に基づき、マスタアームとジョイスティックのいずれからの信号を参照するかを決定する。また、画像入力装置209で入力された画像は、画像処理装置210でFFT、パターン同定が行われた後、実画像をテレビモニタ213で表示すると同時にシミュレーション手段211へ送られ、必要に応じてオペレータ提示用画面103において、アニメーション画像に重ねて表示される。

【0024】次に、位置検出センサ214A～214Cからの信号をマスタアーム入出力装置204で処理する際の具体例を図5に示す。これはジョイスティック、スレーブアームのものに関して同様である。図5において位置検出センサ214A～214Cとしては回転式パルス発生器を用いている。この位置検出センサ214A～214Cからは90°位相のずれた1組のパルス信号すなわちA相及びB相が回転角に応じて発生され、方向判別回路401に入力されて回転角の方向判別が行われる。一方A相またはB相の信号がカウンタ402に入力され、パルス数がカウントされる。前記方向判別回路401から出力される方向信号403はカウンタ402に入力され、パルス数の増減の切換えを行う。したがって、カウンタ402の値は回転角の増減に対応して増減するので、カウンタ402の出力404を外部から読み込むことによって回転角を検知することができる。

【0025】図6は中央処理装置101の具体的な構成例を示す。この中にはデータの入出力制御及び加減算を行うプロセッサ501、三角関数表やマニピュレータのリンクパラメタなどのデータを格納するメモリ502、掛算器503及び割算器504がバス回路505を介して相互に接続されている。さらにこのバス回路505にはシリアルまたはパラレルのインタフェイス回路506A～506Eが接続されている。インタフェイス回路506A～506Eには各アーム入出力装置206、204、ジョイスティック入出力装置208、シミュレーション手段211および座標変換追加装置218がそれぞれ接続されている。プロセッサ501はバス回路505を介してバス回路505に接続されている全ての機器にアクセスし、データを処理することができる。

【0026】次に上述した本発明の装置の一実施例の動 50

作を説明する。マスタアーム201を動作させると、マスタアーム201の各関節角は位置検出センサ214A～214Cにより検出される。この検出信号はマスタアーム入出力装置204を介してシミュレーション手段211に入力される。シミュレーション手段211はマスタアーム201の手先座標系MCのマスタアーム基準座標系Mに対する相対位置関係を座標変換マトリクスT_mとして記憶しており、一般化座標への座標変換演算を行う。また座標変換追加装置218は、入出力装置104からの入力に基づき、マスタアーム201の手先運動に対するスレーブアーム202の手先の運動の寸法比率すなわちスケール変換定数、およびマスタアーム201の先端の位置とスレーブアーム202の先端の位置の基準点のシフト量を示すマトリクスKを記憶しており、シミュレーション手段211に座標変換の追加を指示する。すると、シミュレーション手段211はマスタアーム座標変換マトリクスT_mに対しKを作用させる演算を行い、スレーブアーム座標変換マトリクスT_sを得る。シミュレーション手段211は次に、スレーブアーム202の手先座標系SCのスレーブアーム基準座標系Sに対する相対位置がスレーブアーム座標変換マトリクスT_sに一致するようにしたときのスレーブアーム202の各関節軸目標値を逆座標変換演算により求め、これをスレーブアーム入出力装置206に出力する。

【0027】スレーブアーム入出力装置206はアクチュエータ216A～216Cを駆動する。これにより、マスタアーム201の手先の運動をスケール変換、基点シフトあるいは両方を行ってスレーブアーム202の手先の運動に伝達することができる。この結果、各アームの可動領域内では、アームの形状に係りなく、マスタアーム201の手先の運動を、任意に拡大または縮小してスレーブアーム202の手先に伝えることができ、マスタアーム201の操作に対してスレーブアーム202を細かく運動させたり、粗雑であるが大きく動作を与えることができる。また、必要な場合、入出力装置104からの入力による座標変換追加装置218の指令で、シミュレーション手段211は、スレーブアーム202を一時的にマスタアーム201から切離して静止させておき、操作者はマスタアーム201のみを任意の位置まで動かすようにできる。マスタアーム201が所要の位置まで動かされた状態で、座標変換追加装置218は、マスタアーム201とスレーブアーム202の位置のずれ量を(2)式のd、e、fの部分に記憶しなおす。この状態で再び入出力装置104の入力によってマスタアーム201とスレーブアーム202を連動させることにより、マスタアーム201とスレーブアーム202の動作基準点を自由に設定し直すことができ、常にマスタアーム201を操縦者にとって操作し易い位置で動かすことができる。

【0028】一方、ジョイスティックの位置検出センサ

217A～217Cからの信号は、ジョイスティック入出力装置208を経てシミュレーション手段211に入力される。シミュレーション手段211はこの信号を時間的に積分し、ジョイスティック207の仮想的な手先座標系JCのジョイスティック基準座標系Jに対する相対位置関係を座標変換マトリクスT_sとして記憶する。そして、前述のT_sを求める際に、外部からの切換信号によりT_mの代りにT_sを用いることにより、ジョイスティック207を操作することによりスレーブアーム202を動かすことができる。マスタアーム201は、位置指令としてスレーブアーム202への指令を出し、ジョイスティックは速度指令としてスレーブアーム202への指令を出すため、操作者は状況に応じて使い易い方を選択することができる。ジョイスティック207を用いた場合も、スケール変換によってジョイスティックを倒した際のスレーブアームの移動速度を自由に設定できる等の利点が生じる。

【0029】さらに、第2一般化座標、すなわち(2)式のK_{T,m}をスレーブアーム入出力装置206へ出力する代りに、あるいはスレーブアーム入出力装置206へ出力すると同時にシミュレーション手段211へ出力することにより、オペレータ提示用画面103において、アニメーション画像として見ることができる。スレーブアーム202を動かさずにアニメーション画像を示すことにより、スケール変換等の効果による動きを確認できるので、危険な状況に陥ることがない。

【0030】さらに、地上から宇宙にあるスレーブアームを操作するときには、通信の遅れ時間を利用し、実際のスレーブアームの動きより早く、シミュレーションされた画像を見ることができ、マスタアームの誤操作をチェックして修正することにも使用できる。もし、実際の(リアルタイムでの)スレーブアームの動きを知りたいときには、アニメーション画像を通信の遅れ時間分だけおくらして表示すればよい。

【0031】また、スレーブアーム202を動かすのと*

$$R_i = \begin{bmatrix} \cos \gamma_i \cos \beta_i & \cos \gamma_i \sin \beta_i \sin \alpha_i & \cos \gamma_i \sin \beta_i \cos \alpha_i & 0 \\ -\sin \gamma_i \cos \alpha_i & +\sin \gamma_i \sin \alpha_i & 0 & 0 \\ \sin \gamma_i \cos \beta_i & \sin \gamma_i \sin \beta_i \sin \alpha_i & \sin \gamma_i \sin \beta_i \cos \alpha_i & 0 \\ +\sin \gamma_i \cos \alpha_i & -\cos \gamma_i \sin \alpha_i & 0 & 0 \\ -\sin \beta_i & \cos \beta_i \sin \alpha_i & \cos \beta_i \cos \alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

【0037】このような座標変換マトリクスRを導入すると宇宙におけるスレーブアームの熱変形、慣性変形に対応した信号をスレーブアームに与えることができ、操作性が向上する。上記の目的の場合、アーム変形による先端の姿勢のロール角、ピッチ角、ヨー角を δ 、 ϵ 、

*同時にアニメーションを表示した場合、アニメーションは任意の方向から見た場合の表示ができるので、操作性は向上する。

【0032】また、画像入力装置209により入力された画像はテレビモニタ213で表示する他、オペレータ提示用画面103のアニメーション画像に重ね表示することができる。これにより、より現実的な画像情報が得られると共に、実画像においては手前の物体の影になって死角となる部分もアニメーション画像では表示できるので、実画像とアニメーションがお互いの欠点を補い合うことができる。

【0033】なお、この際座標変換追加装置218は第2一般化座標への変換マトリックスKをアニメーション画像が実画像にずれることなく重なるように決定する必要がある。

【0034】さらに、図4に示したように、画像入力装置209は複数あり、種々の方向からスレーブアームを見ているため、操作者がテレビモニタ213を見ながら操作する際には、マスタアーム201との方向との対応付けを常に頭においておかねばならず、基点シフト等を行いうえでも困難となる。従って、スレーブアーム座標変換マトリクスT_sを得る際に、i番目の画像入力装置209とスレーブアーム202の方向を補正する座標変換マトリクスをR_iとすると、

$$T_s = R_i \cdot K \cdot T_m$$

として、T_sを得ることにより、操作者は方向の差を意識することなく、マスタアーム201を操作することができる。R_i・Kは座標変換追加装置218により与えられる。

【0035】ここで、i番目の画像入力装置209の視線の方向のロール角、ピッチ角、ヨー角を α_i 、 β_i 、 γ_i とすると、R_iは次式で与えられる。

【0036】

【数2】

とし、ひずみによるx、y、z方向へのずれ位置をp、q、rとすると、

【0038】

【数3】

$$R_i = \begin{bmatrix} 11 & & & 12 \\ \cos \zeta \cos \epsilon & \cos \zeta \sin \epsilon \sin \delta & \cos \zeta \sin \epsilon \cos \delta & p \\ & -\sin \zeta \cos \delta & +\sin \zeta \sin \delta & \\ \sin \zeta \cos \epsilon & \sin \zeta \sin \epsilon \sin \delta & \sin \zeta \sin \epsilon \cos \delta & q \\ & +\cos \zeta \cos \delta & -\cos \zeta \sin \delta & \\ -\sin \epsilon & \cos \epsilon \sin \delta & \cos \delta \cos \delta & r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

【0039】と表すことができる。

【0040】次に、本発明のもう一つの実施例を図7を用いて説明する。この実施例はマスタアーム201の手先の位置の微小変位に対し、スケール変換演算を行ったものを、スレーブアーム202の手先の微小変位としてスレーブアーム202に伝えるようにしたものである。そして、図2、3に示す実施例と同様にマスタアーム201の基準座標系をM、基準座標系Mからマスタアーム201の手先までの座標変換マトリクス $T_{s,m}$ 、スケール変換演算等のための変換マトリクスをKとする。またスレーブアーム202の基準座標変換マトリクスを $T_{s,s}$ とすると、座標変換演算の手順は次のようにする。す*

$$d T_{s,s} = J d Q$$

(J : ヤコビ行列)

今、マスタアーム201を微小運動MDさせたとき、その各関節軸の変位の変化を $d Q$ とし、マスタアーム201の各関節軸の変位の変化を $d Q_m$

$$d T_{s,m} = J_m \cdot d Q_m$$

ここで $d T_{s,m}$ をスケール変換してスレーブアーム202の手先の微小運動 $d T_{s,s}$ を次式から得る。★

$$d T_{s,s} = K d T_{s,m}$$

次にスレーブアーム202の各関節軸の微小変位 $d Q_s$ をスレーブアーム202のヤコビ行列 J_s の逆行列 $1/J_s$

$$d Q_s = 1/J_s \cdot d T_{s,s}$$

上式で得られたスレーブアーム202の各関節軸の微小変位 $d Q_s$ をスレーブアーム202の各関節軸の位置に加え、これをスレーブアーム202の各関節軸のサーボ制御回路の目標値とする。

【0045】次に上述した原理にもとづいて本発明の制御装置の他の実施例を図8を用いて説明する。なお、ジョイスティック207、画像入力装置209、シミュレーション手段211等の取扱いについては、最初の例に準じるので、ここではマスタアーム201とスレーブアーム202の関係のみについて説明する。

【0046】図8において図2、3と同符号のものは同一部分または相当する部分である。701は差分回路、702は増分回路である。差分回路701はサンプリングタイムにおけるセンサ214A～214Cのセンサ信号の変化分を検出する。中央処理装置101は前述した(3)～(6)式で示された計算を行い、スレーブアーム202の各関節軸の変化分を求め、この変化分を増分回路

* なわち、マスタアーム201の各リンクバラメタとその各関節軸の位置から座標変換マトリクス $T_{s,m}$ が求められる。またスレーブアーム202の各リンクバラメタとその手先の位置を示す座標変換マトリクス $T_{s,s}$ が与えられれば、スレーブアーム202の各軸の目標値が求められる。

【0041】今ある時点でマスタアーム201とスレーブアーム202の運動を同期させるものとすると、手先の位置の微小変位 $d T_{s,s}$ とマニピュレータ各軸の微小変位 $d Q$ との間には次の関係がある。

【0042】

… (3)

* 1のヤコビ行列をJとしたとき、マスタアーム201の手先の微小運動 $d T_{s,m}$ は次の式から得られる。

【0043】

… (4)

★ 【0044】

… (5)

★ (J_s)を解くことにより求める。すなわち、

… (6)

702に出力する。増分回路702はスレーブアーム202の各関節軸毎に現在目標値に中央処理装置で求めた変化分を入力する。スレーブアーム入出力装置206はスレーブアーム202の各関節軸に設けたアクチュエータ216A～216Cを駆動する。これらアクチュエータ216A～216Cにより、スレーブアーム202は駆動されるが、その移動量は検出器215A～215Cによって検出され、スレーブアーム入出力装置206にフィードバックされる。その結果、マスタアーム201の手先の運動をスケール変換してスレーブアームの手先に伝達することができる。

【0047】上述した本発明の制御装置の他の実施例における演算回路の演算処理動作を図9を用いて説明する。最初に、初期位置でスタートすると、マスタアーム1の各関節の初期値を読み込んでおく。次にマスタアーム1とスレーブアームの関節角を入力し、前回のデータとの差から関節角の変化量 $d Q_m$ を求める。次にテープ

ルを参照して三角関係を求め、マスタアーム1のヤコビ行列 J_m を計算する。関節角変化量 $d Q_m$ とヤコビ行列 J_m からマスタアーム1の手先変位 $d T_m$ を求める。スケール変換定数 K は入力されたデータを用いて得る。マスタアームの手先変位 $d T_m$ に K を乗じてスレーブアームの手先変位 $d T_s$ を求める。次にスレーブアームのヤコビ逆行列 $1/J_s$ を求める。この $d T_s$ に $1/J_s$ を乗じることによりスレーブアームの各関節角変位 $d Q_s$ を求めスレーブアームの関節角 Q_s と $d Q_s$ の和をとってスレーブアームの各サーボ系に結果を出力する。上記手続きを運転終了まで繰返し実行する。

【0048】この実施例によれば、図2、3に示す実施例と同様な効果が得られると共に、マスタアーム201とスレーブアーム202の手先位置がどこにあっても同期スタートすることができ、かつ任意のスケール変位が可能である。

【0049】図11は本発明の装置のさらに他の実施例を示すもので、この図において、図2、3と同符号のものは同一部分である。この実施例は、スレーブアーム202の手先を投影する画像入力装置209のズーム比の変化に対応して、マスタアーム201の運動に対するスレーブアーム202の運動のスケール変換の定数を変えるようにしたものであり、画像入力装置209にそのズームレンズの動きを検出するセンサ1001を設け、このセンサ情報を座標変換追加装置218に入力する。座標変換追加装置218はこのセンサ情報を予め求めておいたデータを用いて補正演算を行うことにより、スケール変換マトリクス K を決定し、前述した実施例と同様に中央処理装置101に座標変換の追加を指示し、中央処理装置101はスレーブアーム202の運動をマスタアーム201のそれに対してスケール変換動作させるための目標値を演算する。図11において、213はテレビモニタである。

【0050】次に上述した本発明の装置の他の実施例の動作を図10に示すフローチャートを用いて説明する。まず初期位置でスタートすると、マスタアーム201の各関節角が読み込まれる。次にテーブルを参照して三角関数の値が求められ、得られた三角関数の値を用いて手先座標 T_m が求められる。前述したように画像入力装置209のズームレンズと同期させる場合、ズームレンズに装着したセンサ1001によりズーム比が検出され、スケール変換マトリクス K が決定される。ズームレンズと同期しない場合はあらかじめ入力されたスケール変換マトリクス K が用いられる。次にマスタアーム201の手先位置 T_m に K を乗じてスレーブアーム202の手先位置 T_s を求める。この T_s より逆座標変換演算でスレーブアーム202の各関節の目標値を求め、これをスレーブアームの各サーボ系に出力する。上記操作を運転終了まで繰返し実行する。

【0051】このように構成したことにより、画像入力

装置209のズーム比を任意に変えて、マスタアーム201の手先の運動とテレビモニタ213上のスレーブアーム202の手先映像の運動の大きさの比率を常に一定に保つことができる。その結果、常に適切な操作感覚が得られ、操作性が向上する。

【0052】(第2の実施例)

1. 第2の実施例説明

図1を用いて本発明の第2の実施例を説明する。

【0053】本実施例は、操作系管理システムと作業系

10 管理システムとからなり、操作系管理システムは、中央処理装置101と、中央処理装置101に接続された画像計測手段102と、中央処理装置101と画像計測手段102に接続されたグラフィックディスプレイ103と、中央処理装置101に接続された入出力装置104から構成され、作業系管理システムは、中央処理装置101と、中央処理装置101に接続された画像計測手段102及びスレーブアーム105とから構成される。このシステムは、例えば軌道上にある作業環境モデルを操作系管理システムと作業系管理システムの中央処理装置20 101が個別に管理している。実際に作業が行われる作業環境(例えば軌道上の宇宙船内)とこの作業環境をシミュレートした作業環境モデル(コンピュータ内に構築された環境)とは、画像計測結果に基づき常に等しくなるように中央処理装置で管理されている。また、地上からの命令で軌道上のスレーブアームが作業を行うときには、軌道上での作業の進行に合わせて、操作系管理システムの中央処理装置が作業のシミュレーションを行うことにより、作業環境モデルと作業環境とを一致させている。グラフィックディスプレイ103は、システムの状況をオペレータに示し、入出力装置104を用いたオペレータとシステムとの対話的動作のためのインターフェースの役割を果たしている。スレーブアーム入出力装置30 105は、スレーブアームを制御するための情報の入出力をている。

【0054】2. 第2の実施例の概要説明

図2及び図3を用いてシステム構成を説明する。

【0055】本システムは、操作系管理システム10

6、及び、作業系管理システム107から構成される。

前記操作系管理システム106は、シミュレーション手

40 段211と、該シミュレーション手段211に接続された画像計測手段102、オペレータ提示用画面103、入出力装置104、ジョイスティック入出力装置208、228、2i8、ジョイスティック207、2i7、マスタアーム入出力装置204、224、2j4、マスタアーム201、2j1とを含んで構成されている。前記作業系管理システムは、マニピュレーション手段230と、該マニピュレーション手段230に接続されたスレーブアーム入出力装置206、226、2m6、スレーブアーム202、2m2、画像計測手段10 50 2と、画像計測手段102に接続されたカメラ209、

229, 2n9とを含んで構成されている。なお、前記ジョイスティック入出力装置、前記ジョイスティック、前記マスタアーム入出力装置、前記マスタアーム、前記スレーブアーム入出力装置、前記スレーブアーム、前記画像計測手段、前記カメラは複数あっても差し支えない。

【0056】また、シミュレーション手段211とミニピュレーション手段230は通信手段により相互に通信可能に接続されている。

【0057】本実施例では、宇宙作業用機器や作業対象物を含む軌道上系で行なわれる作業の合理化を目的として、地上の操作系管理システム（以下、地上系管理システムもしくは単に地上系という）に設置された、オペレータ提示用画面103との対話的作業を通して、作業に必要なデータベースを自律的に生成する。

【0058】（1）環境モデルの作成

この作業は軌道上の作業環境と地上系が持っている環境モデル1107（5.3環境モデルの説明参照）を等しくするために、まず、環境モデル1107に登録されていない物体を新たに登録する作業である。

【0059】オペレータが、マウス、もしくはキーボード等の入出力装置104を用いて、環境モデル1107に登録したい物体の名称と、およその位置を与えると、「建設装置（特開平2-209562）」記載の画像計測手段102が、軌道上に置かれた物体の、正確な位置と姿勢を計測して、環境モデル1107に登録する。以後、前記画像計測手段は、1秒以内の周期で登録物体の位置姿勢計測を継続し、環境モデル1107を絶えず更新する。前記画像計測手段は、地上系管理システム106と、操作系管理システム（以下、軌道上系管理システムもしくは単に軌道上系という）107に組み込まれ、カメラ209, 229, 2n9が取り込んだ画像から作業対象物体の位置、姿勢の計測を行う。

【0060】（2）軌道上作業の計画

軌道上作業の計画は、オペレータが作成した環境モデル1107上で作業概念レベルの表現（以後作業メッセージと記す）により、オペレータ提示用画面103との対話的作業で行われる。地上系管理システム106は、オペレータが入出力装置104を用いて入力した作業メッセージから、作業ネットワークを作成する。作業ネットワークは、作業環境の微小変動や、メカ的に発生する、誤差の影響を受けない程度に抽象化された記述方式を用いているので、ロボット言語よりも長時間保存することができる。

【0061】（3）地上系と軌道上系の情報通信

地上系管理システム106から軌道上系管理システム107へは、作業ネットワーク、地上系で観測された軌道上系環境データ（作業対象物体名、物体位置姿勢）が送られる。軌道上系から地上系へは、画像データ、軌道上系で観測された軌道上系環境データ（作業対象物体名、

物体位置姿勢、スレーブアーム位置姿勢）が送られる。

【0062】（4）軌道上系による計画作業の実行と地上系での作業監視

地上系のシミュレーション手段211及び軌道上系のミニピュレーション手段230をそれぞれ示す図12と図13を参照して軌道上系による計画作業の実行と地上系での作業監視について説明する。環境モデル1107をベースにして、軌道上系と地上系で互いに独立して作業ネットワークが展開され、ロボット言語が生成される。

ロボット言語は、画像計測値に基づいてダイナミックに生成されるデータである。ロボット言語は、即、ロボットの関節角度の時系列データに変換され、地上系では作業シミュレーションを行ない、軌道上系ではロボットを動作させる。地上系で行なわれる作業のシミュレーションは、軌道上系が実際に行なっている作業の監視用に用いられる。システムに異常が発生したときには、地上系監視手段1104、軌道上系監視手段1204が単独で、あるいは、協調して（通信異常は協調して発見できる）、異常個所を検出し、それに応じて対応する。

20. 【0063】3. 操作系管理システム（地上系管理システム）

3. 1 構成の説明

地上系管理システム106のシミュレーション手段211は、図12に示されているように、オフラインシミュレータ1100と、オフラインシミュレータ1100に接続されたオンラインシミュレータ1101及び地上系監視手段1104と、オフラインシミュレータ1100及びオンラインシミュレータ1101に接続された環境モデル管理手段1103と、オフラインシミュレータ1100及び環境モデル管理手段1103に接続されたアニメータ1102と、オフラインシミュレータ1100に接続されたデータ受信装置1105と、オンラインシミュレータ1101に接続されたデータ送信装置1106と、環境モデル管理手段1103に接続された環境モデル1107とを含んで構成される。前記オフラインシミュレータ1100は、作業ネットワーク生成手段1108と作業ネットワーク生成手段1108に接続されたインターフェース制御手段1109とから構成される。

前記オンラインシミュレータ1101は、作業ネットワーク管理手段1110と、該作業ネットワーク管理手段1110に接続されたロボット言語生成手段1111と、ロボット言語生成手段1111に接続されたロボット言語解釈手段1112とから構成される。前記環境モデル管理手段1103は、クラスフレーム検索手段1113と、クラスフレーム検索手段1113に接続されたインスタンスフレーム発生手段1114と、インスタンスフレーム発生手段1114に接続されたインスタンスフレーム更新手段1115とから構成される。前記環境モデル1107（5.3環境モデルの説明参照）は、クラスフレームとインスタンスフレームから構成される。

40. 【0063】3. 操作系管理システム（地上系管理システム）

3. 1 構成の説明

地上系管理システム106のシミュレーション手段211は、図12に示されているように、オフラインシミュレータ1100と、オフラインシミュレータ1100に接続されたオンラインシミュレータ1101及び地上系監視手段1104と、オフラインシミュレータ1100及びオンラインシミュレータ1101に接続された環境モデル管理手段1103と、オフラインシミュレータ1100及び環境モデル管理手段1103に接続されたアニメータ1102と、オフラインシミュレータ1100に接続されたデータ受信装置1105と、オンラインシミュレータ1101に接続されたデータ送信装置1106と、環境モデル管理手段1103に接続された環境モデル1107とを含んで構成される。前記オフラインシミュレータ1100は、作業ネットワーク生成手段1108と作業ネットワーク生成手段1108に接続されたインターフェース制御手段1109とから構成される。前記オンラインシミュレータ1101は、作業ネットワーク管理手段1110と、該作業ネットワーク管理手段1110に接続されたロボット言語生成手段1111と、ロボット言語生成手段1111に接続されたロボット言語解釈手段1112とから構成される。前記環境モデル管理手段1103は、クラスフレーム検索手段1113と、クラスフレーム検索手段1113に接続されたインスタンスフレーム発生手段1114と、インスタンスフレーム発生手段1114に接続されたインスタンスフレーム更新手段1115とから構成される。前記環境モデル1107（5.3環境モデルの説明参照）は、クラスフレームとインスタンスフレームから構成される。

【0064】3.2機能の説明

オフラインシミュレータ1100は、環境モデル1107の作成と、軌道上作業計画の作成とをオペレータ提示用画面103との対話的動作を用いて行なうための機能を備える。作業ネットワーク生成手段1108は、入出力装置104を用いてオペレータが入力した作業メッセージに基づいて作業ネットワーク（5.2作業ネットワークの説明参照）を生成する。インターフェース制御手段1109は、オペレータとオペレータ提示用画面103との対話的動作を制御する（制御の詳細は、7.オペレータ提示用画面の項参照）。

【0065】オンラインシミュレータ1101は、作業ネットワークで表現された軌道上作業を実行するためのデータを生成する。作業ネットワーク管理手段1110は、作業ネットワークを管理し、オペレータの要求に応じて、ロボット言語生成手段1111に渡す。ロボット言語生成手段1111は、作業ネットワークに基づいてロボット言語を生成する。ロボット言語解釈手段1112は、ロボット言語を関節角度の時系列データに変換する。

【0066】環境モデル管理手段1103は、インターフェース制御手段1109を介して入力されるオペレータの指示、画像計測手段102によって入力される計測データ、軌道上作業の実行に伴う作業環境の更新などによって、作業環境と環境モデル1107との間に矛盾が起らないように環境モデル1107を管理する。クラスフレーム検索手段1113は、入出力装置104を用いて、インターフェース制御手段1109を介してオペレータが入力する作業対象物体名すなわちクラス名から、クラスフレーム（5.3環境モデルの説明参照）を検索する。インスタンスフレーム発生手段1114は、検索されたクラスに属するインスタンスを発生する。インスタンスフレーム更新手段1115は、画像計測値や、インターフェース制御手段1109や、ロボット言語解釈手段1112から渡されるデータに基づいて、インスタンスフレームを更新する。

【0067】アニメータ1102は、環境モデル1107に基づいてグラフィックアニメーションを作成し、オペレータ提示用画面103に表示する。データ受信装置1105は軌道系のマニピュレーション手段230から送られてくるデータを受信する。データ送信装置1106は前記マニピュレーション手段230へデータを送信する。地上系監視手段1104は、常にシステムの動作状態を監視して、異常があればオフラインシミュレータ1100へ通知する。

【0068】3.3動作の説明

次に、環境モデル1107の作成時のシステムの動作を説明する。環境モデル1107の作成時には、オペレータ割込みによる対象指示プロセスと、システムによる対象物体自動計測プロセスが同時に機能している。ここ

10

20

30

40

で、1つのプロセスは複数のプロセスにより階層化されて構成されているが、個々のプロセスは自律分散化している。すなわち、個々のプロセスは、ある条件が満たされたときだけ起動し、なんらかの作業をする。この様なシステムでは、プロセス間の実行順序（流れ図）は存在しない。

【0069】そこで、まず、オペレータによる対象指示プロセスを説明する。インターフェース制御手段1109は、アニメータ1102を通して、対話メッセージとコマンドメニューをオペレータ提示用画面103に出力する。すると、オペレータは、オペレータ提示用画面103に表示された対話メッセージに従って、入出力装置104を用いて作業対象物体クラス名称を入力する。このクラス名称は、インターフェース制御手段1109を介して、環境モデル管理手段1103へ渡される。環境モデル管理手段1103では、クラス名称に相当するクラスフレーム（5.3環境モデルの説明参照）を環境モデル1107から検索し、クラスに属するインスタンスフレーム（5.3環境モデルの説明参照）を生成して環境モデル1107に追加する。一方、アニメータ1102は、常に環境モデルを描画データに変換して、オペレータ提示用画面103に表示しているので、環境モデルの更新結果（この場合は作業対象物体の登録状況）は、即、オペレータ提示用画面103に反映される。

【0070】マウスによる作業対象物体の位置修正を行なうときには、インターフェース制御手段1109が、マウス座標を3次元座標（作業対象物体位置座標）に変換させる。すると、インスタンスフレーム更新手段1115は、このデータをもって、生成したインスタンスの位置スロット（5.3環境モデルの説明参照）を更新する。

【0071】次にシステムによる対象物体自動計測プロセスについて説明する。上記のプロセスが働いていないときにはインターフェース制御手段1109から出される画像計測要求に基づいて、画像計測手段102が、作業対象物体の位置姿勢を自動計測する。すると、インスタンスフレーム更新手段1115は、この計測値に基づいて、生成したインスタンスフレームの位置、及び姿勢スロットを更新する。すると、アニメータ1102は、これらの更新状況をオペレータ提示用画面103に出力する。

【0072】つぎに、軌道上作業の計画と計画作業の実行時のシステムの動作を説明する。

【0073】インターフェース制御手段1109が、アニメータ1102を介して、オペレータ提示用画面103に対話メッセージとコマンドメニューを表示する。これに従って、オペレータは、入出力装置104を用いて、作業メッセージを入力する。インターフェース制御手段1109は、入力された作業メッセージを受取り、作業ネットワーク生成手段1108に渡す。すると作業ネット

ワーク生成手段1108は、作業メッセージを解釈して、作業ネットワークを生成する(5.2作業ネットワークの説明参照)。生成された作業ネットワークは、作業ネットワーク管理手段1110に記憶される。作業ネットワーク管理手段1110は、オペレータからの作業実行要求を受け取ると、ただちに、指定された作業ネットワークをロボット言語生成手段1111に渡す。ロボット言語生成手段1111は、作業環境モデル1107を参照しながら、作業ネットワークを動作スキーマ(動作の最小単位のこと、詳細は5.2で述べる)のレベルにまで展開してからロボット言語に変換する。得られたロボット言語はロボット言語解釈手段1112に渡され、ロボット言語解釈手段1112は、ロボット言語を解釈して、スレーブアーム・シミュレータを動かすための関節角の時系列データを生成し、インスタンスフレーム更新手段1115に渡す。インスタンスフレーム更新手段1115による環境モデル1107のインスタンスフレーム更新状況は、即、アニメータ1102を介して、オペレータ提示用画面103に表示される。このとき、オペレータは、オペレータ提示用画面103を見ながら、軌道上に設置されたロボットの作業状況を監視することができる。ロボット言語を生成する過程で、画像計測要求がでた場合には、計測結果に基づいて環境モデル1107を修正し、この環境モデル1107をもとにしてロボット言語に変換する。

【0074】地上系監視手段1104は、システムの動作状態(異常の有無)を定期的にオフラインシミュレータ1100に通知する。また、地上系監視手段1104は、前記オフラインシミュレータから非常停止命令を受信すると、ただちに、システムを停止させる。

【0075】4. 作業系管理システム(軌道上系管理システム)

4. 1 構成の説明

軌道上系管理システム107のマニピュレーション手段230は、オンラインシミュレータ1101と、オンラインシミュレータ1101に接続された環境モデル管理手段1103、スレーブアーム制御装置1216及びデータ受信装置1205と、スレーブアーム制御装置1216に接続されたデータ送信装置1206と、軌道上系監視手段1204と、環境モデル管理手段1103に接続された環境モデル1107とを含んで構成されている。前記オンラインシミュレータ1101は、作業ネットワーク管理手段1110と、作業ネットワーク管理手段1110に接続されたロボット言語生成手段1111と、ロボット言語生成手段1111に接続されたロボット言語解釈手段1112とから構成される。前記環境モデル管理手段1103はインスタンスフレーム更新手段1115を含んで構成され、画像計測手段102に接続される。前記環境モデル1107(5.2参照)は、クラスフレームと、インスタンスフレームから構成され

る。データ受信装置1205とデータ送信装置1206は、地上系のシミュレーション手段211のデータ送信装置1106及びデータ受信装置1105とそれぞれ通信可能となっている。スレーブアーム制御装置1216には、衛星動作手段260及びスレーブアーム入出力装置105が接続される。

【0076】4. 2 機能の説明

オンラインシミュレータ1101は、作業ネットワークを用いて、軌道上作業を実行するためのデータを生成する。作業ネットワーク管理手段1110は、作業ネットワークを管理し、オペレータ、あるいは、軌道上系監視手段1204からの要求(6.システムの安全管理参照)に応じて、ロボット言語生成手段1111に渡す。ロボット言語生成手段1111は、作業ネットワークからロボット言語を生成し、ロボット言語解釈手段1112に渡す。ロボット言語解釈手段1112は、ロボット言語を関節角度の時系列データに変換する。環境モデル管理手段1103は、画像計測手段102による計測データや、軌道上作業の実行に伴う作業環境の更新に対して、作業環境と作業環境モデル1107が常に等しくなるように環境モデル1107を管理する。

【0077】データ受信装置1205はシミュレーション手段211から送られてくるデータを受信する。データ送信装置1206は前記シミュレーション手段へデータを送信する。軌道上系監視手段1204は、常にシステムの動作状態を監視して、異常があれば、オフラインシミュレータ1100へ通知する。スレーブアーム制御装置1216は、スレーブアーム制御データを作成し、スレーブアーム入出力装置105へ制御データを渡す。

30スレーブアーム制御装置1216は、姿勢制御を行う場合、姿勢制御データを作成し衛星動作手段260にわたす。制御データ生成方法に関しては「可動部を備えた人工衛星の制御装置」(特願平)に記載されている方法が適用可能である。

【0078】4. 3 動作の説明

作業ネットワーク管理手段1110は、オペレータから作業ネットワーク実行要求を受け取ると、作業ネットワークをロボット言語生成手段1111に渡す。ロボット言語生成手段1111は、環境モデル1107を参照しながら、作業ネットワークを動作スキーマ(動作の最小単位のこと、詳細は5.2で述べる)のレベルにまで展開してからロボット言語に変換する。ロボット言語を生成する過程で、画像計測要求がでた場合には、計測結果に基づいて環境モデル1107を修正して、これをもとにしてロボット言語に変換する。得られたロボット言語は、ロボット言語解釈手段1112と、スレーブアーム制御装置1216に渡される。ロボット言語解釈手段1112は、ロボット言語を解釈して、スレーブアームを動かすための関節角の時系列データを生成し、インスタンスフレーム更新手段1115に渡す。また、スレーブ

アーム制御装置1216が、姿勢制御を行う場合、姿勢制御データを作成し、衛星動作手段260にわたす。スレーブアーム制御装置1216は、スレーブアームを制御するためのデータを生成し、スレーブアーム入出力装置206に渡す。最後に軌道上系監視手段1204は、軌道上系管理システム107の動作状態（異常の有無）を定期的にオフラインシミュレータに送信する。また、オフラインシミュレータから非常停止命令を受信すると、ただちに、軌道上系管理システム107を停止させる。

【0079】5. 通信方式

5. 1 作業概念レベルの通信階層

次に、図14を参照して本実施例の地上系と軌道上系との間で取り交わされる通信方式を説明する。地上系から軌道上系には、作業ネットワークと、地上系監視手段1104からのメッセージが送られる。軌道上系から地上系には、画像データと、軌道上系の画像計測手段による画像計測値（作業対象物体の位置と姿勢）と軌道上系監視手段1204からのメッセージが送られる。

【0080】図14に示す通信方式は、データベース送信1300、オペレーションコード送信1301、リターンコード受信1302、地上系軌道上系状況計算1303、状況一致？1304、オペレーション進行処理1305、異常回避処理1306、データベース受信1307、オペレーションコード受信1308、リターンコード送信1309、地上系、軌道上系状況計算1310、状況一致？1311、オペレーション進行処理1312、異常回避処理1313の各手順を含んで構成され*

carry (A, [P1, P2], B)

意味：物体Aを地点P1と地点P2を通って地点Bまで運ぶ。

【0084】ここで、AとBは共に作業対象物体の名前で、Aは運ぶもの、BはAを設置させるものを指す。P1とP2はワールド座標系における位置座標である。ロボット言語生成手段1111は、以下に示す展開規則に従つ *

carry (A, [P1, P2], B)

= grasp (A) → path [P1, P2] → attach_to (B)

この式では、grasp (A) と attach_to (B) が動作スキーマである。

30※て、まず作業ネットワークを動作スキーマのレベルに展開する。つぎに、環境モデル1107を参照しながら、動作スキーマからロボット言語を生成する。展開規則を以下に示す。

【0085】

(7)

★ 【0086】

★

(8)

grasp (A) = approach_point → grasp_point

(9)

attach_to (B) = approach_point → attach_point

(10)

式(3)と式(4)は動作スキーマの展開式である。これらの式のapproach_point（つきの動作に望むための基準位置、姿勢）やgrasp_point（物体把持動作のためにスレーブ・マニピュレータ手先がとらなければならない位置、姿勢）やattach_point（把持物体を設置するためにスレーブ・マニピュレータ手先が取らなければならない位置、姿勢）は、作業対象物体（AあるいはB）の形状、位置、姿勢に依存して決められる。そこで、環境モデル1107のAまたはBに関するフレーム（5.3参照）を参照する。さらにgrasp_pointとattach_point

50 は、正確かつ確実な位置決め精度を要求される動作なので、approach_pointに臨んだときに再計測する。

これらの行程を経て、ロボット言語が生成される。

【0087】5. 3 環境モデルの説明

環境モデル1107は、フレーム構造で記述されている。また、フレーム間の関係は、すべて階層関係になっている。また、フレーム自体も階層構造になっていて、フレームの下にはいくつかのスロットが、定義されている。同時にスロットの下にはファシット、ファシットの下にはバリューが定義されている。以下、まず、環境モ

デル1107の構造を説明する。

【0088】環境モデルは、クラスフレームとインスタンスフレームから構成されている。クラスに対してインスタンスは下位階層になっている。クラスフレームには、物体の形状と、操作する上で特徴となる事項（つかみ方、取付け方、センシング方法など）が格納される。操作する上での特徴を記述するには、詳細なデータが必要であるため、下位階層に新たなクラスを定義する。このように、クラスには幾つかの種類があり、種類の名前とその定義は明確にされている。インスタンスフレームには、物体固有の名称、物体の位置、姿勢と他の物体との接続関係と接続状態（単に置かれているだけとか、取り付けられている、などの違い）が記述される。

【0089】6. システムの安全管理

6. 1 概要

システムに異常が発生した場合には、軌道上系管理システム107は、自律動作により、安全な状態に移って、待機、または、終了する。まず、作業ネットワーク管理手段1110が、システム異常の状態（通信遮断、軌道上系管理システム107の故障、地上系管理システム106の故障）を分析して、安全管理用の作業ネットワークを、ロボット言語生成手段1111にわたす。この後の動作は、5. 3記載の軌道上系管理システムの動作と同じである。

【0090】6. 2 通信遮断の場合

ノイズによる一時的な通信不良時には、作業機を一時停止させ、通信復帰通知が来るまで待機する。

【0091】通信器の故障などによる、永続的な通信不良時には、以下の手順を踏んで、初期姿勢に戻す。

【0092】(1) 作業機を初期姿勢に戻す。

【0093】(2) 作業機が作業中（例えば、把持物体がある場合）の場合には、その時点で最低限の作業を行って、作業対象を安全な位置に設置（例えば、把持物体を一番近くの取付け装置に取り付ける）してから、初期姿勢に戻す。

【0094】(3) 地上系監視手段1104から、通信復帰通知が来るまで待機する。*

(1) 軌道上系監視手段からの異常通知

- ・通信異常／通信復帰 ······ (r00/r01)
- ・軌道上系管理システムの異常／復帰 ······ (r10/r11)
- ・地上系管理システムの異常／復帰 ······ (r20/r21)

(2) 作業機の作業状況

- ・物体を把持している／いない ······ (r30/r31)
- ・取付け装置Aに近い／Bに近い ······ (r40/r41)

(3) 状態変数の時間変化

- ・x秒以上変化していない／変化している ······ (r50/r51)

次に、状態遷移図から作成したルールリストを示す。※※【0104】

```
if (r01 & r11 & r21 & r31 & r4* & r5*) then n0
if (r00 & r11 & r21 & r31 & r4* & r5*) then n1
```

* 【0095】6. 3 軌道上系管理システムの故障の場合

(1) 軌道上系監視手段1204は、異常事態発生を、地上系監視手段1104に通知する。

【0096】(2) 作業機を停止させてから、軌道上系管理システム107を停止させる。

【0097】6. 4 地上系管理システムの故障の場合

(1) 地上系監視手段1104は、異常事態発生を、軌道上系監視手段1204に通知して、地上系管理システム106を停止させる。

10 【0098】(2) 異常事態発生を知らされた軌道上系管理システム107は、作業機を初期姿勢に戻す。

【0099】(3) 作業機が作業中（例えば、把持物体がある場合）の場合には、その時点で最低限の作業を行って、作業対象を安全な位置に設置（例えば、把持物体を一番近くの取付け装置に取り付ける）してから、初期姿勢に戻す。

【0100】(4) 地上系監視手段1104から、地上系管理システム復帰通知が来るまで待機する。

20 【0101】6. 5 安全管理ネットワーク

システムの安全管理ルールは、図15のような状態遷移図で表現される。状態遷移図では、ネットワークの状態変数から、次に進む「節」が1つ決まる。ネットワークの「枝」は、前記作業ネットワークに対応している。従って、システムのあらゆる異常から来る擾乱に対して、現時点までの作業手順と無関係に状態変数が1つ定まり、次に選択すべき「枝」と「節」が1つ決まる。この性質のために、動的な行動計画立案能力を要求される自律システムに対して、この手法（状態遷移図を用いた行動計画ルール表現法）は有効である。

30 【0102】ところで、図15の状態遷移図は、状態遷移図を用いた行動計画ルール表現法の1実施例で、軌道上系には、A, B 2つの取付け装置と、作業機、および、作業対象物体が存在し、作業機によるAからB、または、BからAへの物体移動作業を想定している。この場合の状態変数になる情報、および、状態変数(r**)で表記)を以下に示す。

【0103】

```

if (r00 & r11 & r21 & r30 & r40 & r5*) then n3
if (r00 & r11 & r21 & r30 & r41 & r5*) then n4
if (r01 & r10 & r2* & r3* & r4* & r51) then n2
if (r01 & r10 & r2* & r3* & r4* & r50) then n5
if (r01 & r11 & r20 & r31 & r4* & r5*) then n2
if (r01 & r11 & r20 & r30 & r40 & r5*) then n3
if (r01 & r11 & r20 & r30 & r41 & r5*) then n4

```

7. オペレータ提示用画面

オペレータ提示用画面103は、オペレータが、地上系管理システム106から、軌道上系管理システム107を遠隔操作するために、軌道上の作業環境のグラフィック・アニメーションをマウスで操作しながら、新しい作業環境のモデルの作成、作業の計画、作業の実行を行うための専用環境を備えている。図16にオペレータ提示用画面103の外観図を示す。図16に示すようにオペレータ提示用画面103には作業環境モデル1107を表示するメインウィンドウの他、キーコマンド入力用ウィンドウ2枚、画像計測状況をオペレータに提示するための実画像ウィンドウ1枚が表示される。

【0105】本実施例のシステムは、大きく分けると
(1) 環境モデルの作成、(2) 軌道上作業の計画、
(3) 計画作業の実行という3種類の操作モードを持っている。

【0106】7. 1 環境モデルの作成モード

環境モデルの作成モードは、作業対象物体を新しく環境モデル1107に登録するモードである。具体的には、アイコンなどでオペレータ提示画面に表示された候補モデルのリストのなかから、作業環境には存在するが、環境モデル中に登録されていない物体モデルをオペレータがマウスで選びだし、実画像上に重ねあわせる。

【0107】ここで、オペレータ誤りの原因になる位置のあいまいさ(実画像と物体モデルが正確に位置合わせをされない可能性)と、形状のあいまいさ(似ているが違うモデルが選ばれてしまう可能性)は、画像計測手段102により処理することができる。位置のあいまいさの処理の具体例は、「建設装置」(特開平2-209562)に記載されている。形状のあいまいさは、「リアルタイム一般化ハフ変換装置」(特願平02-313350)記載の装置を使って、候補モデルのリスト(環境モデルのクラスフレーム群)の中から、作業環境には存在するが環境モデル中に登録されていない物体モデルを、自動的に検索して、環境モデルに登録する(環境モデルのインスタン*

$$R = S_p \cap q / S_q$$

$$C = ((| \rho_{pi} - \rho_{qi} | + k | \theta_{pi} - \theta_{qi} |)) / S_p \cap q$$

$$= D / S_p \cap q$$

(11)

(12)

k:定数

(11), (12)式から次の判定ルールが求められる。※

$$R > \theta_1$$

$$C > \theta_2$$

(13)

(14)

※【0114】

*スフレームを発生し、位置、姿勢データを格納する)ことにより処理することができる。この方法では、前記カメラにより取り込まれた画像から、物体候補パターンを抽出し、環境モデル中の物体モデル群との照合、検証を繰り返しながら、最終的に正しい候補を決定する。ところが、システムに、高度な環境認識(パターン認識)能力を持たせるためには、異なる照合階層を持つ照合アルゴリズムを融合する必要がある反面、照合階層の数だけ照合モデルの記述方式が存在することが、システム実現上の問題点ともなる。一方、環境モデルは、CADデータで与えることができる。そこで、一旦、CADデータを、アニメータ1102を通して画像データ化した後で、ハフ変換し、ハフバラメータで記述された照合モデルを生成する。

【0108】ハフバラメータ抽出アルゴリズムは、 256×256 (画素)の画像空間を 16×16 (画素)の小ウィンドウに分割して、各ウィンドウを個別に「リアルタイム一般化ハフ変換装置」(特願平02-313350)記載の装置を用いてハフ変換することにより、ハフバラメータを抽出する。

【0109】照合検証ルールを以下に示す。

【0110】まず、照合パターンの表記を以下のように定義する。

【0111】画像から抽出した物体パターン: P
データベースから取りだした物体モデル: Q
ここで、照合パターンQの信頼度を、PとQを抽出した小ウィンドウ W_p と W_q の中で、互いに重なっている小ウィンドウの総和 $S_p \cap q$ の、Qを抽出したウィンドウの総和 S_q に対する比 R と定義する。

【0112】次に、互いに重なっているウィンドウ $W_p \cap q$ から、ハフ変換により抽出される線分バラメータ $(\rho_{pi}, \theta_{pi}), (\rho_{qi}, \theta_{qi})$ の $\rho - \theta$ 空間内の距離の総和をDと定義する。このDを $S_p \cap q$ で正規化した照合パターンを、一致度Cと定義する。

【0113】すなわち、

(11)

(12)

θ_i, θ_j : しきい値

ここで、(13)式と(14)式を同時に満たす照合パターン(P_i, Q_j)の組み合わせの中で、Cが最大となる Q_j を検索パターンとする。

【0115】7.2 軌道上作業の計画モード

軌道上作業の計画モードでは、作業機のアニメーションをマウスで操作するという直接的な方法で作業メッセージを入力する。作業メッセージの入力方法に関する詳細は、「3次元選択方式」(特開平1-112374)に記載されている。

【0116】7.3 計画作業の実行モード

計画作業の実行モードでは、作業実行命令を出して、作業実行中に適時行われる画像計測の状況の確認メッセージが出される。

【0117】8. 補足

本システムは、遠隔操作装置であり、地上、あるいは、海底など、あらゆる環境下に置かれた、管理システムを遠隔操作する上で有効である。また、複数の管理システムが互いに遠隔操作を行う場合もある。このようなシステムを実現する上で重要なのは、(1) 管理システムを構成するモジュール(本実施例では、作業ネットワーク生成手段1108や、インターフェース制御手段1109など)が、自律分散的に動作することと、(2) 各モジュールが動作するときに参照するための共通の記憶手段(本実施例では、環境モデル1107)を管理システムが個別に、あるいは、共有していることである。また、自律分散的に動作させるためのルールの記述には、上記5.5項記載の「状態遷移図を用いた行動計画ルール表現法」が有効である。また、本実施例では、環境認識プロセス専用に環境モデルを作成する必要がない。

【0118】(第3の実施例) 本発明は、実際の運用時だけでなくオペレータの訓練、または、各機器の実用前試験にも適用できる。まず、軌道上系管理システムを地上の実験場に設置して、「ロボットと作業対象物の相対運動模擬装置」(特願平3-343947)記載の相対運動演算手段を、マニピュレーション手段230のスレーブアーム制御装置1216に接続することにより、宇宙機回収ミッションのオペレータ訓練設備を構成することができる。

【0119】

【発明の効果】 本発明によれば、マニピュレータのマスタアームの操作性が向上し、その結果マニピュレータ自体の操作性も向上する。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施例の要部構成を示すブロック図である。

【図2】 図1に示す実施例の部分の詳細構成例を示すブロック図である。

【図3】 図1に示す実施例の部分の詳細構成例を示すブロック図である。

【図4】 本発明の実施例の具体的な全体構成例を示す斜視図である。

【図5】 図1に示す実施例の部分の詳細構成例を示すブロック図である。

【図6】 図1に示す中央処理装置101の具体的な構成例を示すブロック図である。

【図7】 本発明の動作原理を示す説明図である。

【図8】 本発明の他の実施例によるマニピュレータ制御システムのブロック図である。

10 【図9】 本発明の実施例における演算処理動作を示すフローチャートである。

【図10】 本発明の実施例における演算処理動作を示すフローチャートである。

【図11】 本発明の他の実施例によるマニピュレータ制御システムのブロック図

【図12】 図2に示す実施例の部分の詳細を示すブロック図である。

【図13】 図3に示す実施例の部分の詳細を示すブロック図である。

20 【図14】 本発明の実施例における通信プロトコルを示すブロック図である。

【図15】 本発明の実施例で用いられる安全管理ネットワークの状態遷移図である。

【符号の説明】

101 中央処理装置

102 画像計測手段

103 オペレータ提示画面(グラフィックディスプレイ)

104 入出力装置

30 105 スレーブアーム入出力装置

106 操作系管理システム(地上系管理システム)

107 作業系管理システム(軌道上系管理システム)

201 マスタアーム

202 スレーブアーム

204, 224, 2j4 マスタアーム入出力装置

205 中央処理装置

206, 226, 2m6 スレーブアーム入出力装置

207 ジョイスティック

208, 228, 2i8 ジョイスティック入出力装置

40 209, 229, 2n9 画像入力装置

210 画像処理装置

211 シミュレーション手段

213 テレビモニタ

214A, 214B, 214C 位置検出センサ

216A, 216B, 216C アクチュエータ

217 入出力装置

217A, 217B, 217C 位置検出センサ

218 座標変換追加装置

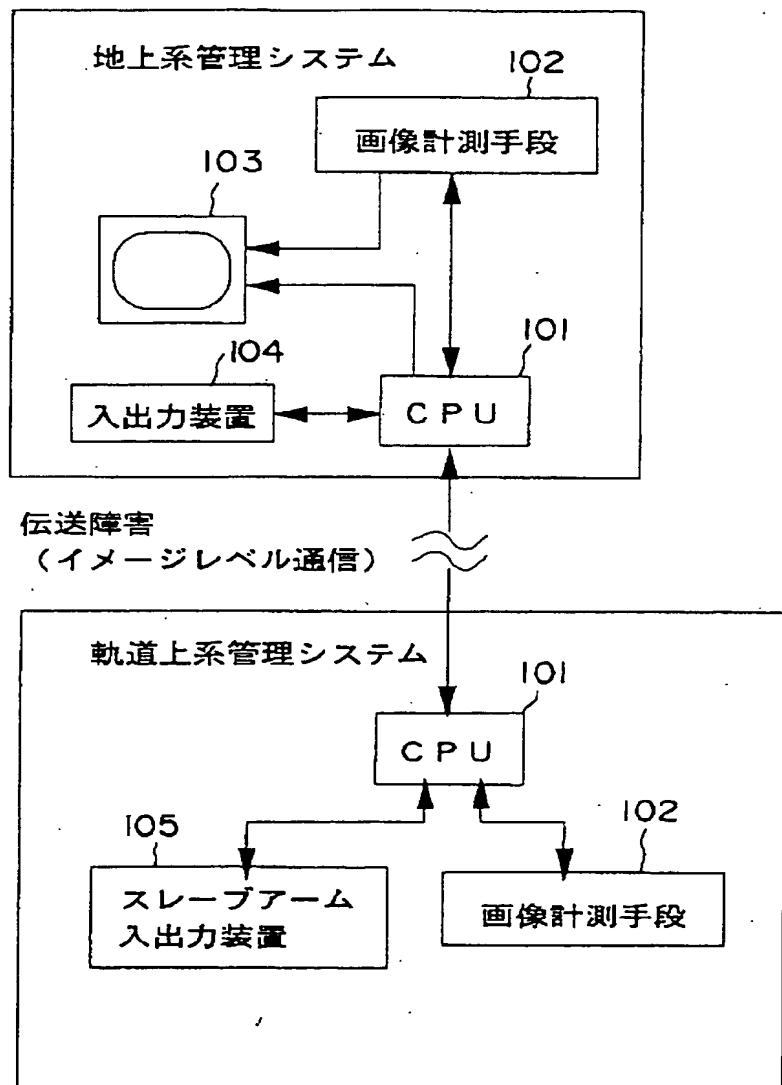
230 マニピュレーション手段

50 260 衛星動作手段

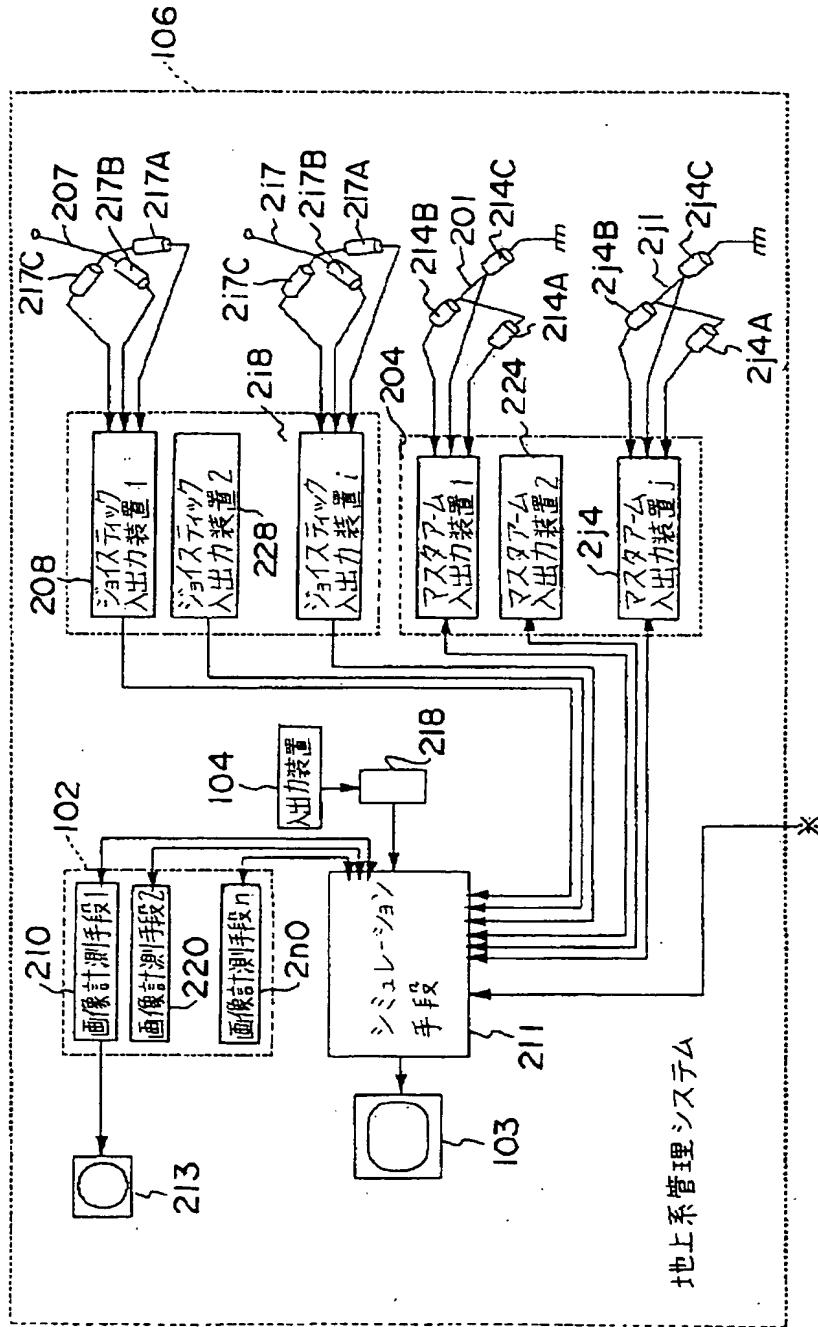
301 作業対象物
 401 方向判別回路
 402 カウンタ
 501 プロセッサ
 502 メモリ
 503 掛算器

* 504 割算器
 505 バス回路
 506A, 506B, 506C, 506D, 506E
 インタフェイス回路
 701 差分回路
 * 702 増分回路

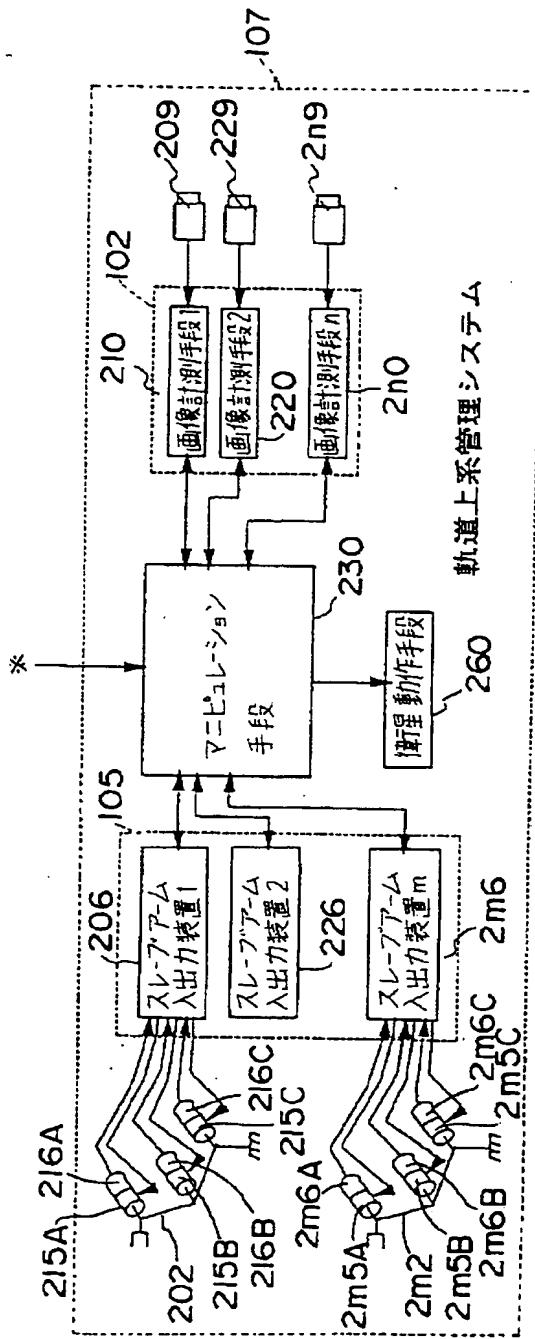
【図1】



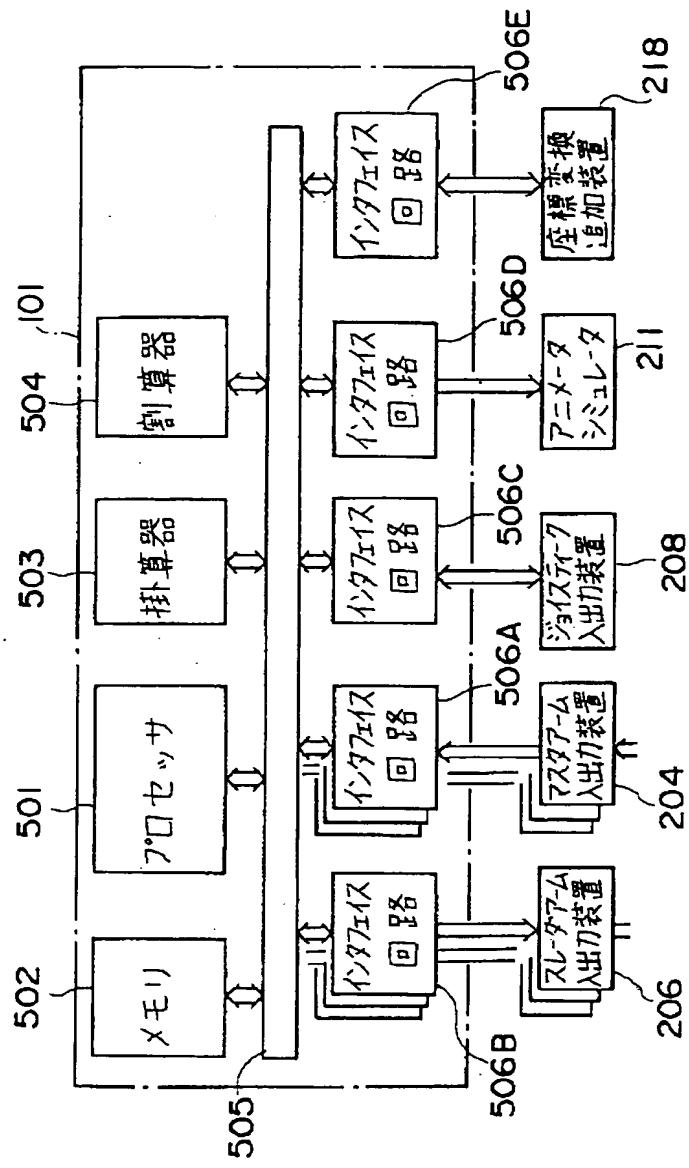
【図2】



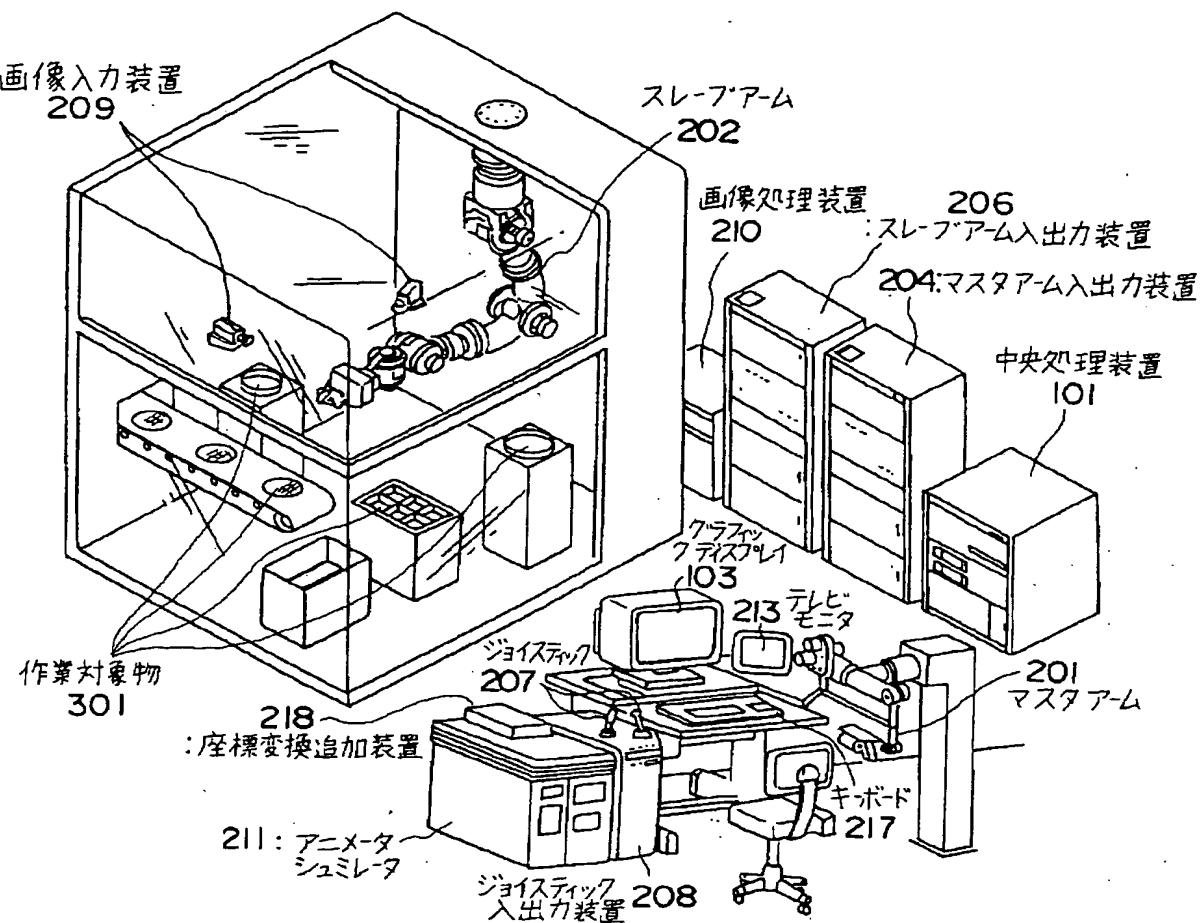
〔 3〕



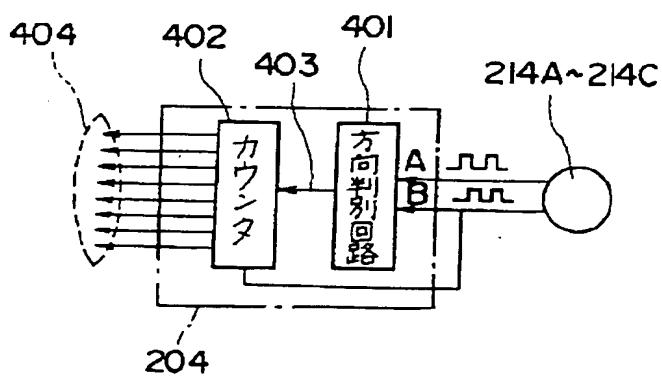
[図6]



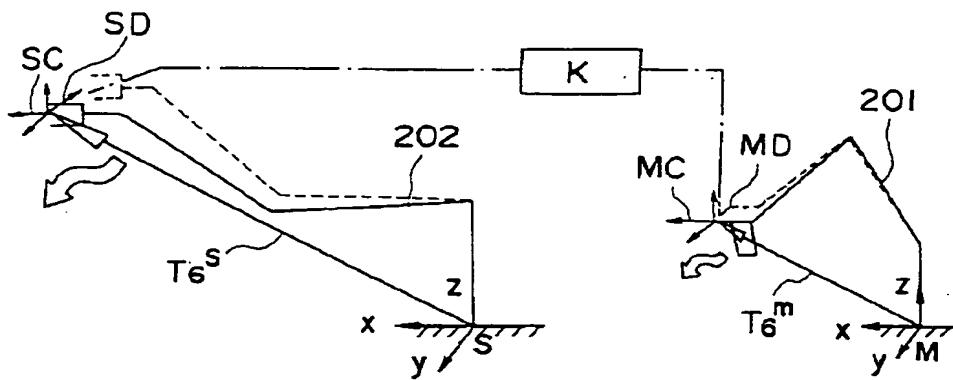
【図4】



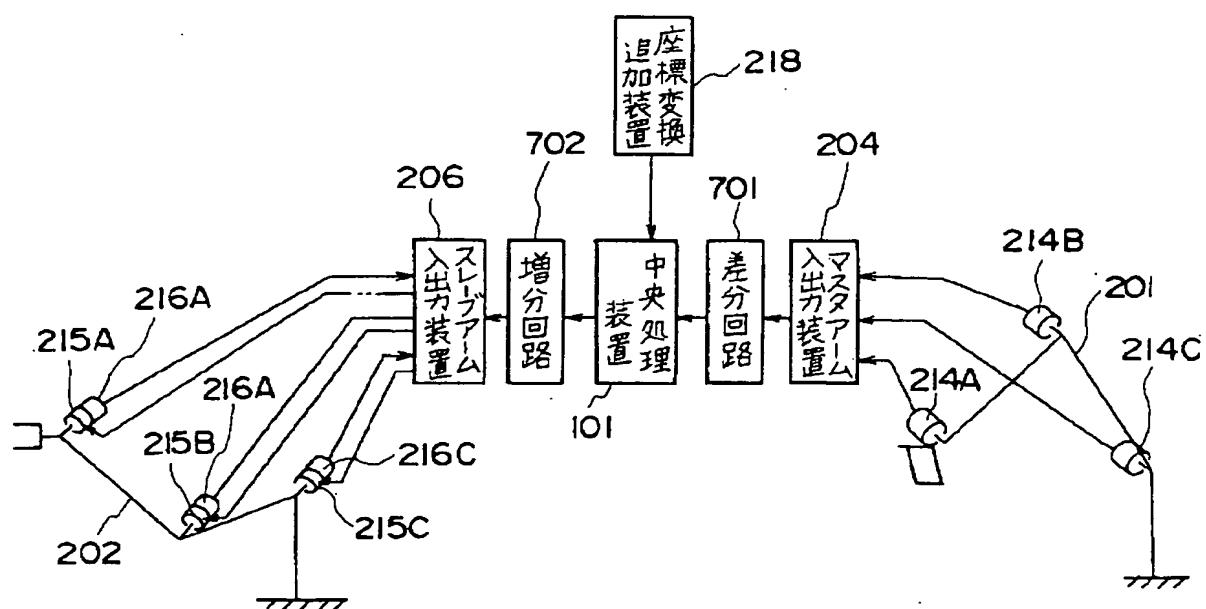
【図5】



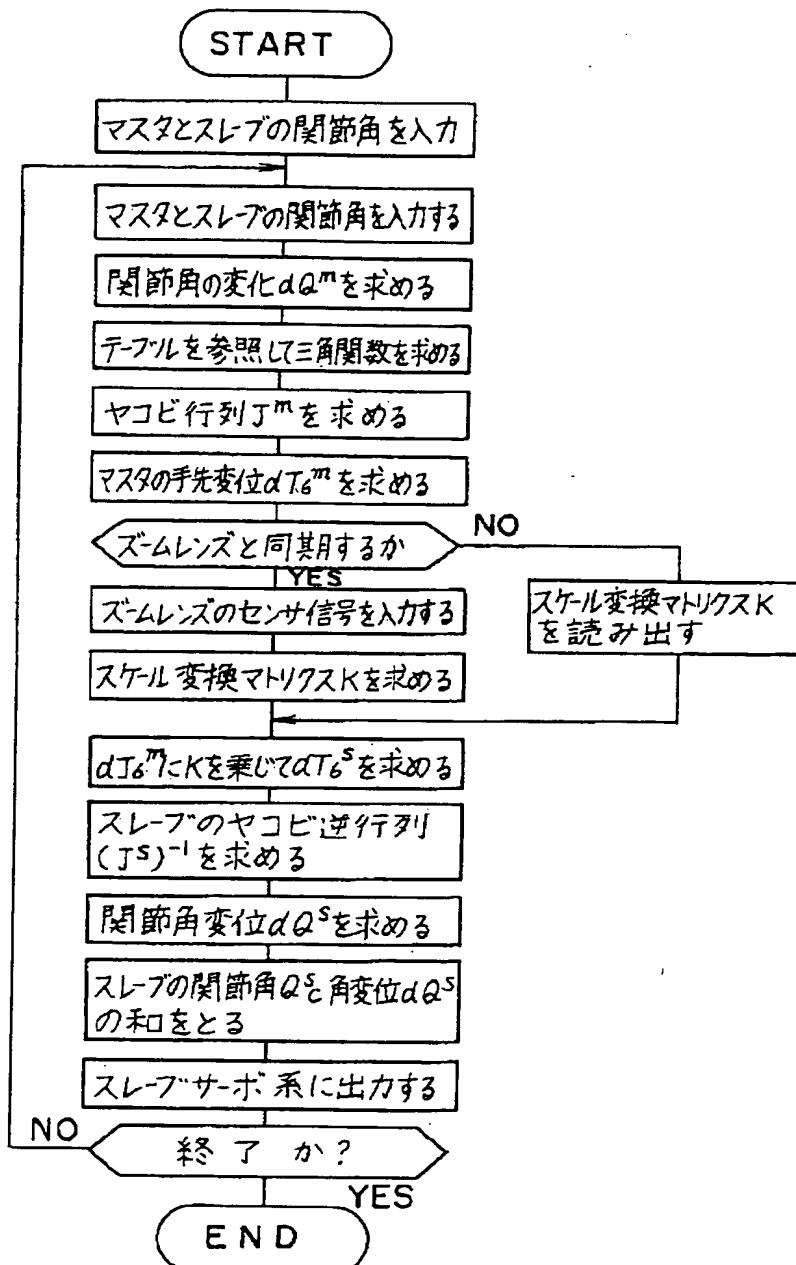
【図7】



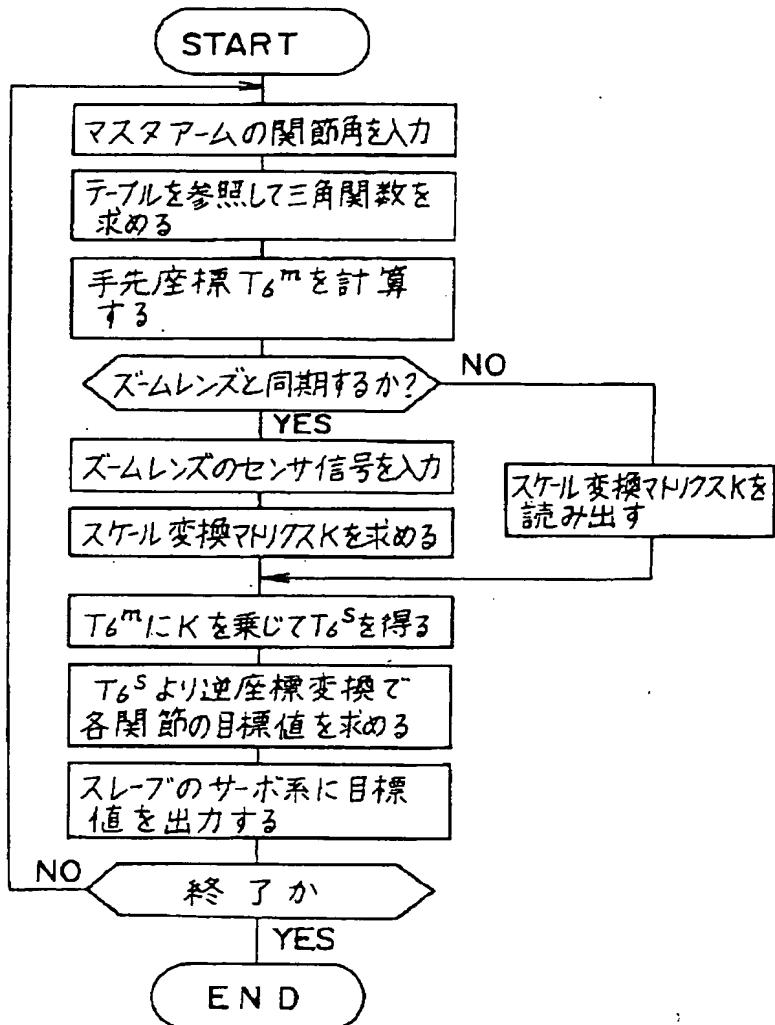
【図8】



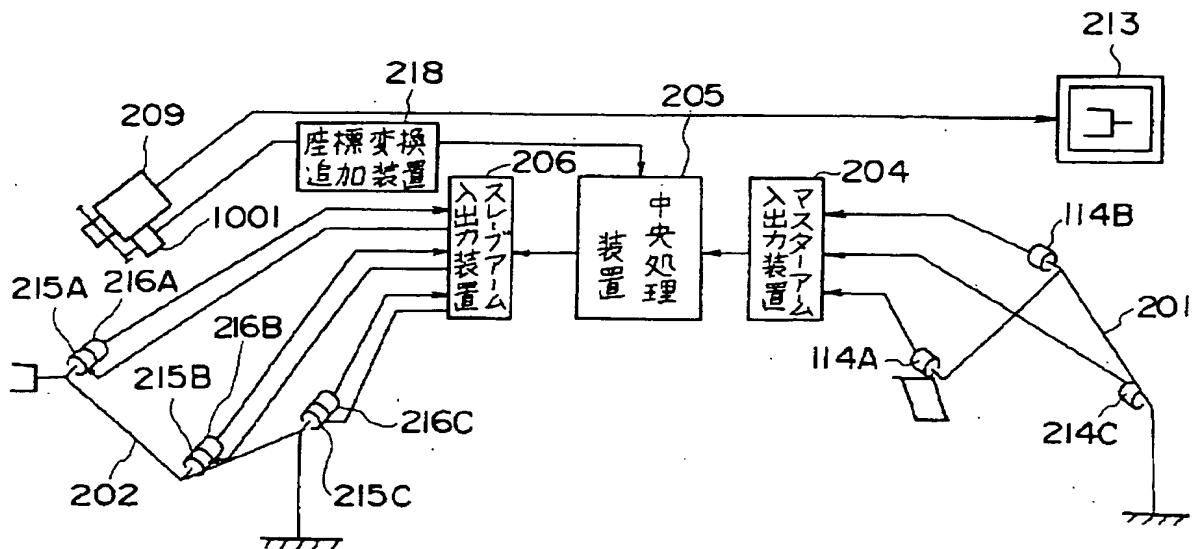
【図9】



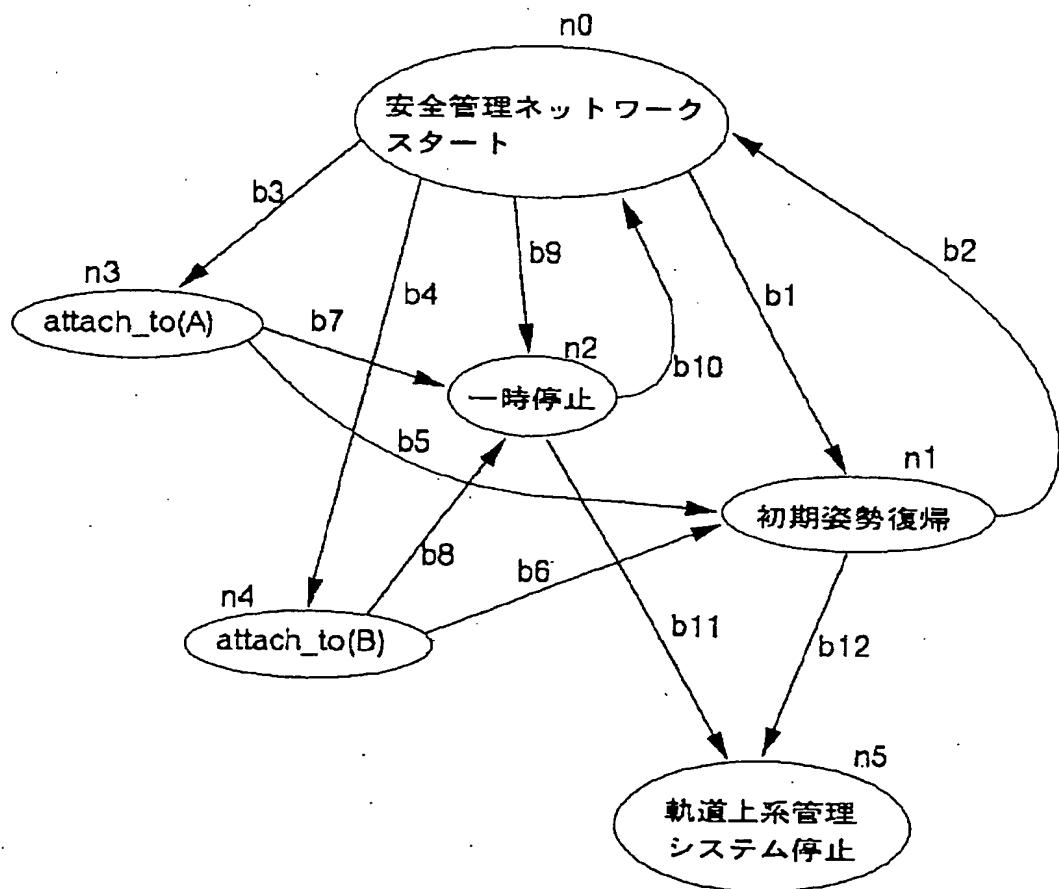
【図10】



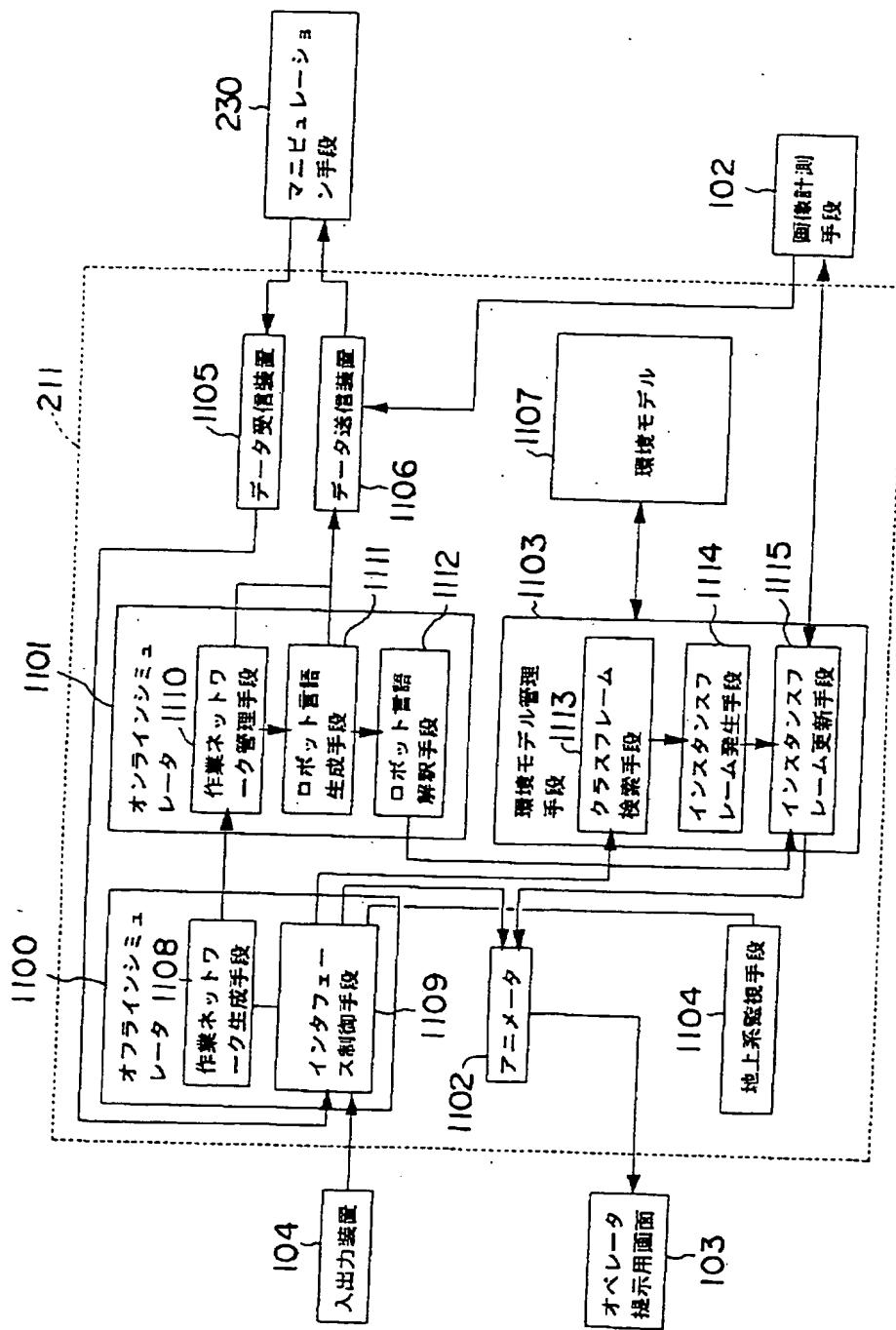
【図11】



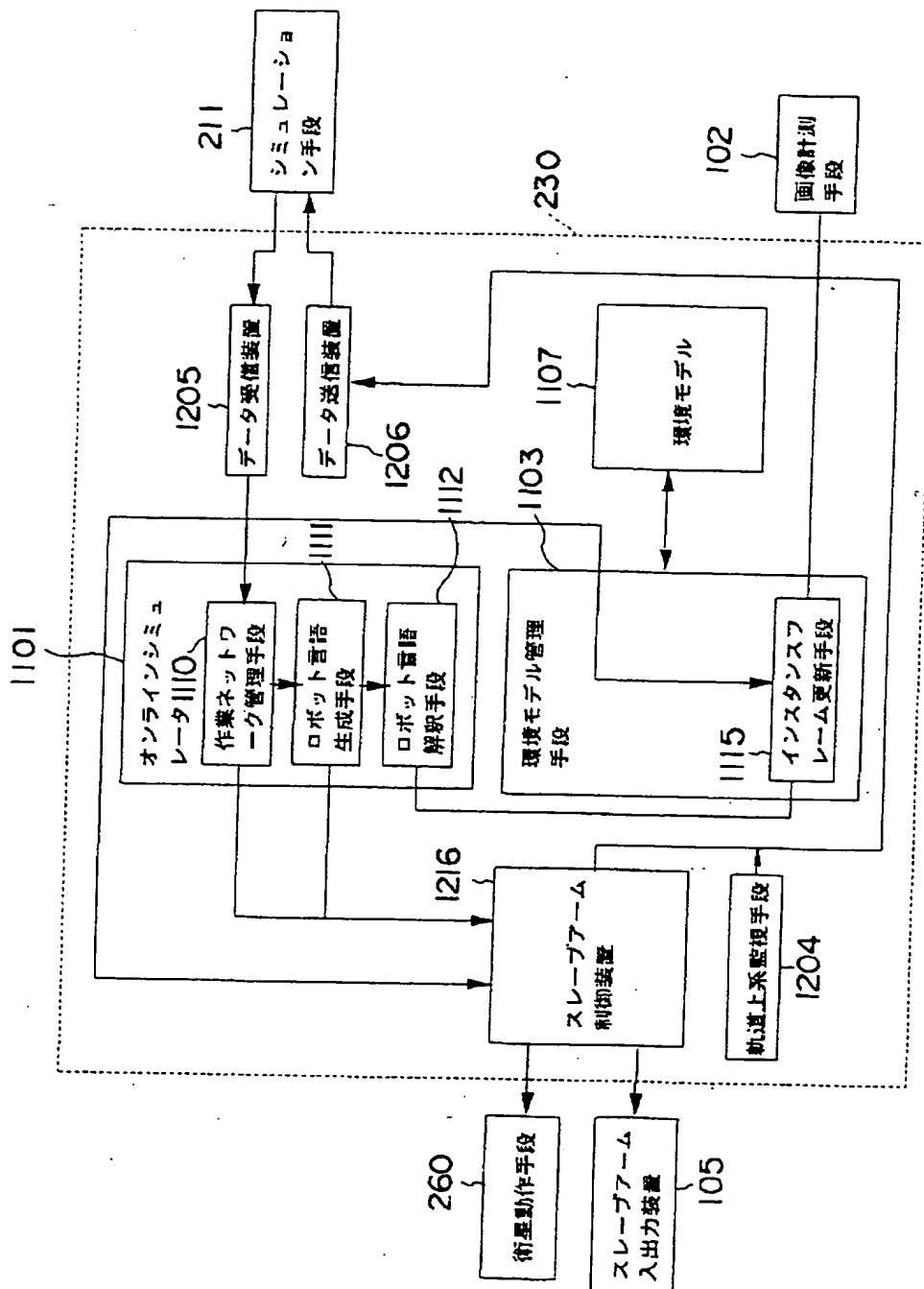
【図15】



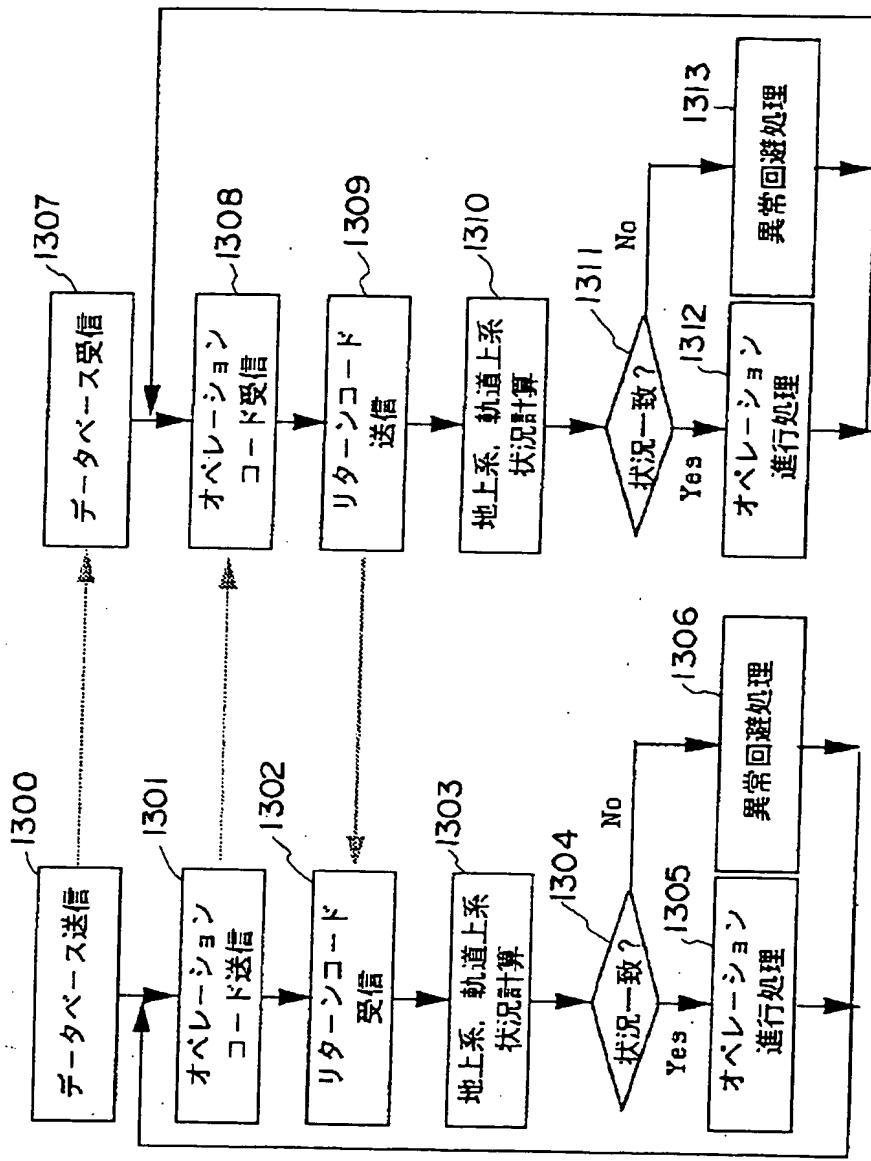
[図12]



[図13]



〔図14〕



【手続補正書】

【提出日】平成4年10月2日

【数1】

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0016

【補正方法】変更

【補正内容】

【0016】

$$K = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & a \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & e & d & \end{bmatrix}$$

……(2)

フロントページの続き

(72)発明者 浜田 朋之

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日
立製作所機械研究所内

(72)発明者 木村 圭一

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日
立製作所機械研究所内

(72)発明者 菊池 宏成

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日
立製作所機械研究所内